



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH TEMPERATUR WARM KOMPAKSI DAN
TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT Cu-10%Sn + 0,6% ZINC STEARATE
SEBAGAI MATERIAL PELURU FRANGIBLE**

MAHARDIKA KURNIA DEWANTARA
NRP 2712 100 057

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti S.Si, M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., P.hD

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL141584

EFFECT OF WARM COMPACTION PRESSURE AND TEMPERATURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE Cu-10%Sn + 0,6% ZINC STEARATE AS FRANGIBLE BULLET MATERIAL.

MAHARDIKA KURNIA DEWANTARA
NRP 2712 100 057

Advisor :

Dr.Widyastuti S.Si, M.Si

Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., P.hD

DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL
ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH TEMPERATUR WARM KOMPAKSI DAN
TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT Cu-10%Sn + 0,6% ZINC STEARATE
SEBAGAI MATERIAL PELURU FRANGIBLE**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MAHARDIKA KURNIA DEWANTARA
NRP. 2712 100 057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. (Pembimbing 1)
Mas Irfan P Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)



**PENGARUH TEMPERATUR KOMPAKSI DAN
PERSENTASE ZINC STEARATE TERHADAP SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT Cu-10%Sn + 0,6% ZINC STEARATE
SEBAGAI MATERIAL PELURU FRANGIBLE**

Nama : Mahardika Kurnia Dewantara
NRP : 2712100057
Jurusan : Teknik Material & Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, S.T, M.Sc, P.hD

ABSTRAK

Peluru frangible adalah peluru yang didesain untuk hancur saat mengenai target yang keras. Pada umumnya proses pembuatan peluru frangible dilakukan menggunakan metode cold compaction. Namun cold compaction memiliki beberapa tahapan yang memerlukan waktu yang cukup lama. Metode warm kompaksi ini menggabung tahapan kompaksi dan sintering menjadi satu tahap sehingga mengurangi waktu produksi. dalam penelitian ini dilakukan dengan proses (1) Wet Mixing Cu-10%wtSn + 0,6%wt zinc stearate, (2) kompaksi dengan variasi temperatur 100, dan 200^oC dan tekanan 300, 400, 500 600 Mpa dan waktu tahan 10 menit. Berdasarkan pengujian densitas didapatkan densitas terbesar dan porositas terendah pada temperatur 100^oC dan tekanan 500 MPa sebesar 8.144g/cm³ dan 6.925%. Berdasarkan pengujian kekrasan nilai tertinggi didapatkan pada temperatur 100^oC dan tekanan 500 MPa sebesar 76.30 HV. Hasil Kekuatan tekan terbesar tercatat pada temperatur 100^oC dan tekanan 500 MPa sebesar 315.714 MPa. Berdasarkan hasil uji XRD didapatkan fasa yang terbentuk adalah Cu, Sn, Cu₃Sn, dan Cu₆Sn₅.

Kata kunci : warm kompaksi, sifat mekanik, metalurgi serbuk

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**EFFECT OF WARM COMPACTION TEMPERATURE
AND COMPACTION PRESSURE ON MECHANICAL
PROPERTIES OF Cu-10%Sn + 0,6% ZINC STEARATE
COMPOSITE AS FRANGIBLE BULLET MATERIAL**

Name of Student : Mahardika Kurnia Dewantara
Student ID : 2712100057
Department : Material and Metallurgical Engineering
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Mas Irfan P. Hidayat, S.T, M.Sc, P.hD.

ABSTRACT

Frangible bullet is a bullet that designed to be shattered when it smash a hard target. Generally frangible bullet is made from cold compaction method. But cold compaction has some steps makes this method is time consuming. Warm compaction method unite compaction method and sintering method in one time. Warm compaction can reduce the production time. The processes in this research are (1) Wet mixing the powders (Cu10%Sn + 0,6% Zinc stearate) and adding an ethanol to reduce a potential to an oxidation reaction. (2) compaction with temperature variation 100^oC and 200^oC and pressure variation 300, 400, 500, 600 MPa with 10 minutes holding time. As the results Tests, the highest value of density, hardness, compression, and the lowest value of porosity noted 8.144g/cm³, 76.30 HV, 315.714 MPa, and 6.925%. XRD test shows the formation of Cu, Cu₆Sn₅, Cu₃Sn, and Sn. SEM – EDX result shows the same phase in the Cu10wt%Sn + 0,6% Zinc stearate composite sample.

Keywords : warm compaction, mechanical properties, powder metallurgy

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Puja dan Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan Rahmat dan HidayatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul

“Pengaruh Temperatur Warm Kompaksi dan Tekanan Kompaksi Terhadap Sifat Mekanik Komposit Cu-10%wtSn+0,6% Zinc Stearate Sebagai Material Peluru Frangible”

Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

- Allah Subhanahu Wata'ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih agar mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna
- Orang tua tercinta, atas jasa–jasanya yang tak terhingga dalam mendidik dan membesarkan saya.
- Ibu Widyastuti S.Si, M.Si dan Bapak Mas Irfan Purbowanto Hidayat, Ph.D sebagai dosen pembimbing yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang Ibu dan Bapak berikan.
- Kepada Bapak Dr.Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
- Bapak Ir. Moh. Farid DEA dan Bapak Dr. Eng. Hosta Ardyananta, S.T.,M.Sc selaku dosen penguji yang sangat

saya hormati. Terima kasih atas segala masukan, pertanyaan dan pencerahan yang diberikan kepada saya.

- Staf Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Mas Ridho.
- Staf Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
- Staf Laboratorium Beton Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Staf Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro
- Teman-teman seperjuangan Laboratorium Fisika Material. Tama, Arief, Hasanah, Alfian, Nurriha, Aini, Pradana, Ulul, Ernas, Abang Nizar, Neng Idris.
- Teruntuk pendamping hidup yang nantinya menemani saya sampai hidup saya berakhir.
- dan juga kepada seluruh Teman – Teman seperjuanganku MT14, terima kasih karena sudah menjadi teman – teman terbaik di jurusan ini.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat member manfaat bagi kita semua. Aamiin

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 10 Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Peluru <i>Frangible</i>	5
2.2 Komposit Cu-Sn	6
2.3 Metalurgi serbuk	10
2.4 Pelumasan	11
2.5 Proses Pengadukan	13
2.6 Warm Kompaksi	15
2.7 Porositas	17
2.8 Difusi	19
2.9 Penelitian Sebelumnya	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Bahan	27
3.2 Alat	29
3.3 Diagram Alir Penelitian	34
3.3.1 Preparasi Bahan	35
3.3.2 Proses Penelitian	35
3.3.3 Pengujian	36

3.4	Jadwal Penelitian	40
3.5	Rancangan Penelitian.....	41

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Data	43
4.1.1	Karakterisasi Serbuk Cu dan Sn.....	43
4.1.2	Proses Pembuatan Pellet Cu ₁₀ Sn.....	46
4.1.3	Hasil Analisa XRD.....	50
4.1.4	Hasil Analisa SEM – EDX.....	54
4.1.5	Hasil Analisa Densitas dan Porositas Komposit Tembaga – Timah.....	63
4.1.6	Hasil Analisa Sifat Mekanik Komposit Tembaga – Timah	67
4.2	Pembahasan	73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran.....	77

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema terjadinya ricochet.....	5
Gambar 2.2	Diagram fasa Cu-Sn.....	10
Gambar 2.3	Pengaruh Jumlah Pelumas Terhadap <i>Apparent Density</i>	12
Gambar 2.4	Pengaruh <i>Zinc stearate</i> terhadap (1) densitas, (2) <i>Total Porosity</i> , (3) <i>Open</i> <i>Porosity</i> , dan (4) <i>Closed Porosity</i>	13
Gambar 2.5	Metode pengadukan serbuk dengan pengadukan difusi pengadukan konveksi pengadukan geser.....	14
Gambar 2.6	Fenomena dalam kompaksi, semakin tinggi penekanan semakin berkurang porositas yang didapat	16
Gambar 2.7	Jenis Jenis Pori. (a) Pori tertutup, (b) (c) (d) (e) (f) Pori terbuka, (b) (f) Pori buntu. Berdasarkan bentuknya (c) Silinder terbuka, (f) Silinder Buntu, (b) Berbentuk botol tinta, (d) berbentuk corong, (e) Berbentuk Kasar	17
Gambar 2.8	Mekanisme pembuatan logam berpori dengan menggunakan material pengisi ruang	18
Gambar 2.9	Zona difusi dari Cu-Ni	19
Gambar 2.10	Kekuatan green pada variasi temperatur kompaksi dengan fungsi densitas green.....	20
Gambar 2.11	Efek temperatur terhadap densitas sebagai fungsi tekanan kompaksi	21
Gambar 2.11	Efek temperatur terhadap densitas sebagai fungsi pelumas	22
Gambar 3.1	Serbuk Cu (Tembaga)	27
Gambar 3.2	Serbuk Sn (Timah).....	28
Gambar 3.3	Serbuk Zinc Stearate	28
Gambar 3.4	Beaker Glass	29

Gambar 3.5	Masker	30
Gambar 3.6	Sarung Tangan	30
Gambar 3.7	Spatula	31
Gambar 3.8	Dies	31
Gambar 3.9	Magnetic stirrer.....	32
Gambar 3.10	Jangka Sorong.....	32
Gambar 3.11	Neraca Digital	32
Gambar 3.12	Mesin Pemanas Dies	33
Gambar 3.11	Alat Kompaksi.....	33
Gambar 3.14	Alat Uji Tekan	34
Gambar 3.15	Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 4.1	Grafik hasil XRD serbuk Tembaga	43
Gambar 4.2	Gambar SEM serbuk Tembaga	44
Gambar 4.3	Grafik hasil XRD serbuk Timah.....	45
Gambar 4.4	Gambar SEM serbuk Timah	46
Gambar 4.5	Tampilan fisik serbuk Tembaga sebelum dicampur	47
Gambar 4.6	Tampilan fisik serbuk Timah sebelum dicampur	47
Gambar 4.7	Tampilan fisik serbuk Zinc Sterarate sebelum dicampur	48
Gambar 4.8	Hasil campuran serbuk Tembaga, Timah, dan Zinc stearate	48
Gambar 4.9	Hasil green pellet dari setiap variabel dan lingkaran merah menunjukkan adanya warna perak diseluruh permukaan sampel	49
Gambar 4.10	perbesaran sampel variabel 200°C dan tekanan 600 MPa yang menunjukkan adanya tail	50
Gambar 4.11	Hasil analisa puncak XRD sampel temperatur 100°C	50
Gambar 4.12	Hasil analisa kuantitatif XRD sampel temperatur 100°C	51

Gambar 4.13	Hasil analisa puncak XRD sampel temperatur 200°C	52
Gambar 4.14	Hasil analisa kuantitatif XRD sampel temperatur 200°C	53
Gambar 4.15	Gambar SEM temperatur 100°C dengan perbesaran 300x tekanan 300 MPa	54
Gambar 4.16	Gambar SEM temperatur 100°C dengan perbesaran 300x tekanan 400 MPa	55
Gambar 4.17	Gambar SEM temperatur 100°C dengan perbesaran 300x tekanan 500 MPa	55
Gambar 4.18	Gambar SEM temperatur 100°C dengan perbesaran 300x tekanan 600 MPa	56
Gambar 4.19	Gambar SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 300 MPa	57
Gambar 4.20	Gambar SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 400 MPa	58
Gambar 4.21	Gambar SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 500 MPa	58
Gambar 4.22	Gambar SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 600 MPa	59
Gambar 4.22	Gambar SEM temperatur 100°C dengan perbesaran 3000x	60
Gambar 4.23	Gambar SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 3000x	60
Gambar 4.24	Hasil SEM EDX Cu ₆ Sn ₅	62
Gambar 4.25	Hasil SEM EDX Cu ₃ Sn	62
Gambar 4.26	Hasil SEM EDX Cu	63
Gambar 4.27	Pengaruh tekanan pada spesimen temperatur kompaksi 100°C terhadap densitas dan porositas	64
Gambar 4.28	Pengaruh tekanan pada spesimen temperatur kompaksi 200°C terhadap densitas dan porositas	66

Gambar 4.29	Pengaruh tekanan pada spesimen temperatur kompaksi 100 ^o C terhadap kekerasan dan kuat tekan komposit Cu10%Sn.....	68
Gambar 4.30	Pengaruh tekanan pada spesimen temperatur kompaksi 200 ^o C terhadap kekerasan dan kuat tekan komposit Cu10%Sn.....	70
Gambar 4.31	Pengaruh tekanan pada spesimen temperatur kompaksi 100 ^o C dan 200 ^o C terhadap modulus elastisitas komposit Cu10%Sn.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik peluru frangible secara umum	6
Tabel 2.2 Sifat logam Tembaga dan Timah.....	7
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	42
Tabel 3.2 Rancangan penelitian yang dilakukan.....	43
Tabel 4.1 Data hasil densitas dan porositas pada temperatur kompaksi 100 ⁰ C.....	64
Tabel 4.2 Data hasil densitas dan porositas pada temperatur kompaksi 200 ⁰ C.....	66
Tabel 4.3 Data hasil kekerasan dan kuat tekan pada temperatur kompaksi 100 ⁰ C.....	68
Tabel 4.4 Data hasil kekerasan dan kuat tekan pada temperatur kompaksi 200 ⁰ C.....	70

praktek penulis mempelajari flow material, mulai dari bahan hingga baja siap dikirim.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam topik Material Inovatif berjudul “Pengaruh Temperatur Warm Kompaksi dan Tekanan Kompaksi Terhadap Sifat Mekanik Komposit Cu-10%wtSn+0,6% Zinc Stearate Sebagai Material Peluru Frangible”

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Pendahuluan

Dunia militer saat ini banyak menggunakan peluru frangible sebagai peluru latih. Peluru ini didesain untuk hancur ketika menghantam target yang keras, sehingga akan meningkatkan keamanan dalam berlatih. Peluru frangible adalah *metal matrix composite* yang dibuat dari paduan Cu dan Sn dengan menggunakan metalurgi serbuk. Umumnya metode yang digunakan adalah metode metalurgi serbuk dengan proses pencampuran, kompaksi dan sintering. Pada prosesnya kompaksi dan sintering dapat dijalankan dalam satu waktu, yaitu dengan menggunakan metode *warm compaction*. Metode ini dapat mengurangi jumlah proses dengan hasil densitas yang mendekati nilai *pore free density*.

Penelitian mengenai proses warm kompaksi telah banyak dilakukan, Kazzaz (2014) melakukan penelitian warm kompaksi Iron dengan variasi tekanan kompaksi 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, dan 400 MPa serta variasi temperatur kompaksi 25, 80, 90, 100, 110, 120, dan 130°C. dihasilkan green density, Green Strength dan Impact Strength terbaik pada temperatur kompaksi 130°C. Ngai (2007) melakukan penelitian warm kompaksi serbuk Cu murni (99,7%) dengan variasi temperature 25-200°C dan variasi penekanan 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 MPa. Didapatkan hasil dari green density Cu maksimum pada temperature kompaksi 135°C dengan tekanan kompaksi 700 MPa dan akan menurun seiring dengan penambahan temperatur kompaksi. Feng (2011) melakukan penelitian warm kompaksi dengan variasi 100, 120, 140, dan 160°C dan persen Zinc stearate 0,4, 0,5, 0,6, 0,7wt% terhadap sifat mekanik komposit berbasis Cu. Didapatkan nilai densitas serta hardness terbesar pada 140°C dan 0,4% Zinc Stearate.



Dari percobaan diatas warm kompaksi untuk material berbasis Cu masih belum memnuhi syarat sebagai material frangible bullet. Untuk menyempurnakan penelitian mengenai frangible bullet berbasis Cu, pada penelitian ini dilakukan warm kompaksi serbuk $\text{Cu}10\%\text{Sn}+0,6\%\text{Zn Stearate}$ dengan variasi temperatur kompaksi 100, dan 200°C , serta tekanan kompaksi 300, 400, 500, dan 600 MPa dan akan dianalisa efeknya terhadap sifat mekanik yang didapatkan.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh temperatur warm kompaksi terhadap sifat mekanik dari $\text{Cu-10wt\%Sn}+0,6\%\text{Zn Stearate}$?
2. Bagaimana pengaruh tekanan warm kompaksi terhadap sifat mekanik dari $\text{Cu-10wt\%Sn}+0,6\%\text{Zn Stearate}$?

I.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laju pemanasan dianggap konstan
2. Dimensi sampel dianggap homogen
3. Pengotor diabaikan.
4. Aspek lingkungan dianggap tidak berpengaruh

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa pengaruh temperatur warm kompaksi terhadap sifat mekanik dari $\text{Cu-10wt\%Sn}+0,6\%\text{Zn Stearate}$?
2. Menganalisa pengaruh tekanan warm kompaksi terhadap sifat mekanik dari $\text{Cu-10wt\%Sn}+0,6\%\text{Zn Stearate}$?



I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan material alternatif pada pembuatan proyektil peluru *frangible* yang ramah lingkungan dengan menggunakan metode kompaksi yang diberikan temperatur dan metalurgi serbuk. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya guna mengembangkan kualitas proyektil peluru *frangible*. Sehingga dapat dijadikan inovasi dalam pembuatan produk persenjataan untuk mewujudkan kemandirian teknologi hankam nasional.



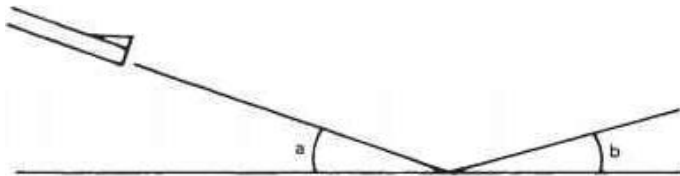
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Peluru *Frangible*

Peluru *frangible* adalah peluru yang didesain untuk hancur menjadi bagian bagian yang kecil. Peluru *frangible* digunakan untuk meminimalisir adanya kecelakaan akibat adanya pantulan peluru atau *ricochet* (Mates, 2006). *Ricochet* mempunyai potensi yang sangat berbahaya apabila peluru yang terpantul masih memiliki massa yang cukup besar. Massa yang cukup besar ditambah dengan kecepatan yang tersisa pada pantulan peluru akan menimbulkan energi kinetik yang cukup besar. *Ricochet* memiliki kemungkinan arah pantulan peluru yang beragam, memantul kembali serong keatas hingga sampai kembali kearah penembak atau bisa disebut "*splashback*". Dengan penggunaan peluru *frangible* maka kemungkinan untuk terjadi *ricochet* atau *splashback* dapat diminimalisir dengan hancurnya peluru menjadi bagian bagian yang kecil (Mullins, 2001)



Gambar 2.1 Skema terjadinya *ricochet* (Heard, 2008)

Peluru *frangible* dibuat dari komposit matrik logam dengan bahan logam atau paduan logam berupa tembaga, besi, nikel, emas, perak, timbal, krom, dan paduan mereka, namun sangat disarankan untuk memakai tembaga atau paduan tembaga. Karakteristik Peluru *frangible* ditunjukkan dengan tabel 2.1 berikut :



Tabel 2.1 Karakteristik peluru *frangible* secara umum

No	Karakteristik	Nilai	Sumber
1	Massa Jenis	- 1,75g/cc – 8,25 g/cc 7,1 g/cc – 8,5g/cc (uji tembak)	Hansen (2008)
2	Kekuatan Tekan	31 Mpa – 310 Mpa	Kruachatturat, dkk (2009)
3	Kekerasan Permukaan	54 HV - 119 HV	Kruachatturat, dkk (2009)

2.2 Komposit Cu dan Sn

Tembaga (Cu) adalah logam dengan struktur kristal *face centered cubic* (FCC) berwarna kemerahan, memiliki konduktivitas thermal dan listrik yang sangat bagus, ketahanan korosi yang bagus, mudah untuk difabrikasi, kekuatan yang bagus dan ketahanan lelah yang bagus, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai matriks pada komposit matriks logam (*ASM Metals Handbook Vol 2*). Tembaga secara umum adalah logam yang tidak magnetik. Penggunaan tembaga murni tidak begitu familiar dengan kekuatan yang tinggi, karena tembaga murni biasanya bersifat lunak namun memiliki konduktivitas listrik yang sangat bagus. Sehingga digunakan untuk kabel, kontak elektrik, maupun alat-alat yang berhubungan dengan listrik. (Li,2012).

Penggunaan paduan tembaga yang sering digunakan saat ini antara lain perunggu (*bronze*), kuningan (*brass*), paduan tembaga-timah-seng. Paduan-paduan tersebut dapat digunakan untuk pembuatan senjata dan meriam yang tangguh, yang dikenal dengan istilah *gun metal*. Tembaga dengan densitas 8,96 g/ cm³ dapat digunakan untuk penggunaan material aplikatif pengganti timbal pada peluru *frangible* dengan jarak tertentu. (Nadkarni, 2003). Sifat fisik dan sifat mekanik tembaga bisa dilihat pada Tabel 2.1

**Tabel 2.2** Sifat Logam Tembaga dan Timah

No	Sifat Fisik	Tembaga (Li,2012)	Timah (Sharafat,2000)
1	Nomor Atom	29	50
2	Massa Atom	63.54g/mol	118,71 g/mol
3	Titik Leleh	1083°C	231,93°C
4	Densitas	8,95 g/cm ³	7,29 g/cm ³ (α) 5,77 g/cm ³ (β)
5	Konduktivitas Thermal	391 Wm/K	68,2 Wm/K
6	Modulus Elastisitas	117 GPa	49,9 Gpa
7	Hardness	37 HRB	3.9 HB

Timah (Sn) merupakan logam berwarna putih keperakan yang dapat ditempa. Timah agak sedikit ulet dan memiliki struktur yang sangat kristalin. Sn memiliki bentuk *allotropi* berupa timah abu-abu (timah α) dan timah putih (Timah β). Timah abu-abu memiliki struktur kristal kubus. Pada temperatur 13,2°C timah α berubah menjadi Timah putih dengan struktur kristal tetragonal. Ketika dipanaskan di udara maka timah akan membentuk SnO₂ (Oksida). Timah bisa menahan korosi dari air laut, air terdistilasi, maupun air, namun timah tidak bisa menahan dari asam kuat, alkali dan asam garam. Disamping itu timah mempunyai sifat yang unik yaitu *wet* dan *spread ability* yang melebar ke area permukaan logam, maka timah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Leburan timah dapat menyebar dengan mudah pada permukaan substrat seperti tembaga, paduan tembaga, nikel, dan paduan nikel (Tan, 1993). Sn banyak digunakan sebagai coating untuk anti korosi pada logam yang lain. Selain itu Sn digunakan sebagai paduan logam lain (*Bell metal*, *Babbitt metal*, Perunggu, dll) (Sharafat, 2000)



Komposit adalah suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu ikatan mekanik dengan struktur yang homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (Sulitijono, 2000). Komposit dibentuk dari dua komponen penyusun yang berbeda yaitu penguat (*reinforcement*) yang mempunyai sifat sulit dibentuk tetapi lebih kaku serta lebih kuat dan matriks yang umumnya mudah dibentuk tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah (Schwartz, 1984).

Dalam komposit Cu-Sn logam matriks adalah Cu karena titik lelehnya lebih tinggi dan logam pengikatnya adalah Sn karena titik lelehnya lebih rendah. sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Banovic (2008) dimana Sn akan leleh terlebih dahulu dan melumuri atau mengelilingi serbuk Cu yang belum meleleh. Dalam prosesnya terbentuk fasa intermetalik yang mempunyai perbedaan karakteristik.

Dalam diagram fasa Cu-Sn terdapat banyak intermetalik yang dapat terjadi tergantung dengan temperatur dan komposisi Cu-Sn yang diberikan. diagram fasa dari Cu-Sn dapat dilihat dari Gambar 2.2

Untuk mendukung data eksperimen yang didapat, maka perlu untuk mendapatkan data teoritis dari komposit. Untuk mendapatkan densitas dari komposit bisa menggunakan *Rule of Mixture* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \dots \dots \dots \text{pers(2.1)}$$

Dimana:

ρ_c = densitas komposit

ρ_m = densitas matriks

ρ_f = densitas penguat

V_m = fraksi volume matriks

V_f = fraksi volume penguat



$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots \text{pers (2.2)}$$

Dimana :

ρ = densitas
 m = massa
 v = volume

Dengan menggunakan rumus densitas (2.2) maka akan diperoleh fraksi massa.

Dengan perumusan berikut,

$$m_m = a.m_c \text{ dan } m_f = b.m_c \dots\dots\dots \text{pers (2.3)}$$

Dimana :

m_m = massa matrik
 m_f = massa penguat
 m_c = massa komposit
 a = fraksi massa matrik
 b = fraksi massa penguat

Data teoritis dari massa setiap fraksi (matriks atau reinforced) dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

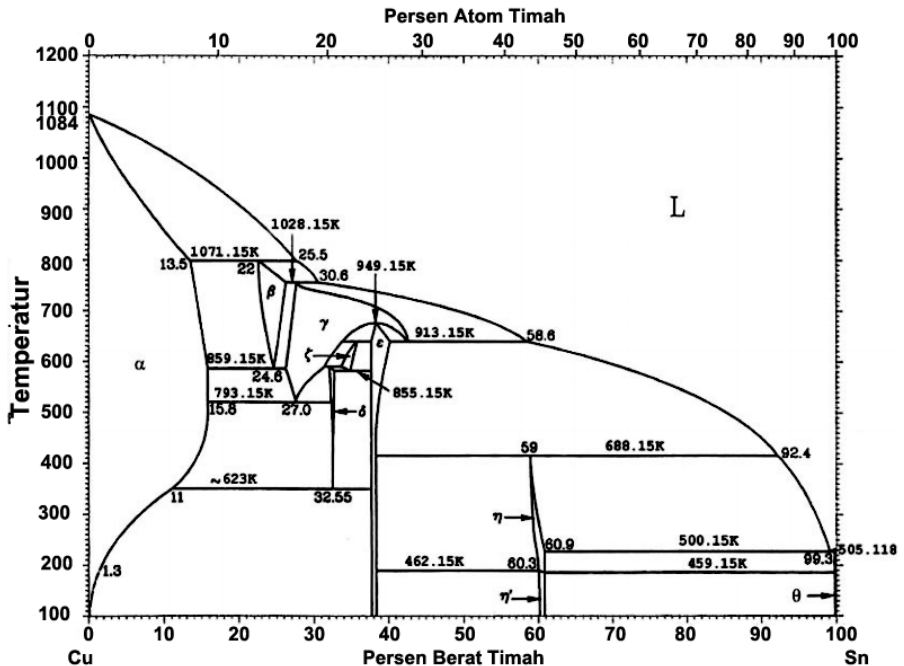
- Massa matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \dots\dots\dots \text{pers (2.4)}$$

- Massa *reinforced*

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \text{ pers (2.5)}$$

dimana : v_c = volume komposit



Gambar 2.2 Diagram fasa Cu-Sn (Sanchez,2006)

2.4 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah salah satu metode dalam teknologi pengerjaan logam yang berbahan logam serbuk (logam yang memiliki ukuran maksimum kurang dari 1 mm). Daya tarik metalurgi serbuk adalah kemampuan untuk menghasilkan produk yang memiliki kualitas tinggi, bentuk yang kompleks, dan toleransi yang rendah. Dalam proses pengerjaan metalurgi serbuk adalah rendahnya konsumsi energi yang dipakai dan rendahnya biaya peralatan (German,1984). Prinsip dalam pembentukan serbuk adalah memadatkan serbuk logam menjadi serbuk yang diinginkan kemudian memanaskannya di bawah temperatur lelehnya. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena



mekanisme transformasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel (Jones, 1960). Proses metalurgi serbuk biasanya akan menimbulkan porositas, hal tersebut berpengaruh pada berat jenisnya (Rusianto, 2005).

2.5 Pelumas

Dalam pengerjaan metalurgi serbuk, untuk mengurangi gaya gesek antar partikel ketika kompaksi, maka diperlukan pelumas untuk mengurangi gaya gesek yang terjadi pada serbuk. Pelumas ini berupa serbuk yang biasanya dicampurkan dalam serbuk logam pada langkah terakhir sebelum penekanan. Serbuk pelumas ini biasanya terdiri dari serbuk stearat berbasis Al, Zn, Li, Mg, atau Ca. ukuran pelumas yang biasanya dipakai rata-rata 30 μm dan pemakaiannya tidak boleh lebih dari 2%. Pelumas ini umumnya memiliki titik leleh yang rendah. Sifat – Sifat dari beberapa pelumas metalurgi serbuk seperti ditampilkan pada Tabel 2.3 (German, 1984)

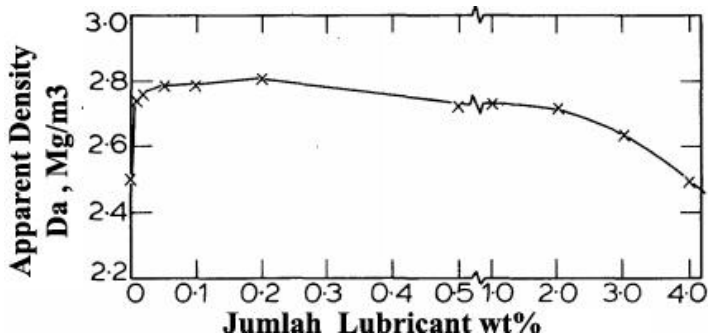
Tabel 2.3 Sifat dari Beberapa Pelumas yang Umum Dipakai dalam Metalurgi Serbuk (German, 1984)

Nama Umum	Oksida	Jumlah Oksida (%)	Temp. Pelunakan ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. leleh ($^{\circ}\text{C}$)	Densitas (g/cm^3)
Zinc stearate	ZnO	14	100-120	130	1.09
Calcium stearate	CaO	9	115-120	160	1.03
Lithium Stearate	Li_2O	5	195-200	220	1.01

Pengaruh penambahan pelumas terhadap sifat mekanik hasil metalurgi serbuk bervariasi. Dengan penambahan pelumas (*Lithium Stearate*) maka terjadi penurunan *apparent density* akibat volume yang sama diisi oleh *lithium stearate* yang memiliki massa jenis rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian

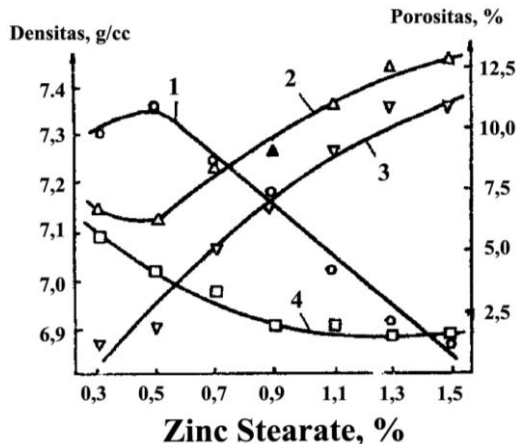


yang dilakukan oleh Ward (1979) dengan meningkatnya *Zinc stearate* maka terjadi penurunan *apparent density* dari hasil metalurgi serbuk seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pengaruh Jumlah Pelumas Terhadap *Apparent Density* (Ward, 1979)

Densitas dan porositas mempunyai hubungan yang berbanding terbalik. Semakin besar densitas komposit maka semakin kecil porositas yang terjadi pada komposit. Ketika komposit mencapai *full density*, maka komposit tersebut tidak mempunyai porositas lagi (Fany, 2015). Beberapa faktor yang mempengaruhi densitas dan porositas dari suatu komposit. Diantaranya adalah partikel size, temperatur pemanasan, dan pelumas. Kontribusi pelumas terhadap porositas terjadi karena adanya gas hasil penguapan pelumas yang terperangkap didalam material ketika dipanaskan. Sehingga gas yang terperangkap tersebut akan membentuk lubang-lubang yang tidak terisi oleh material dan menjadi porositas (Ibrahim, 2009). Pelumas *Zinc stearate* juga bisa menjadi agen pembentuk porositas dan menurunkan densitas seperti yang dilakukan oleh Gaidarov (1988), pengaruh ini ditunjukkan dengan Gambar 2.4



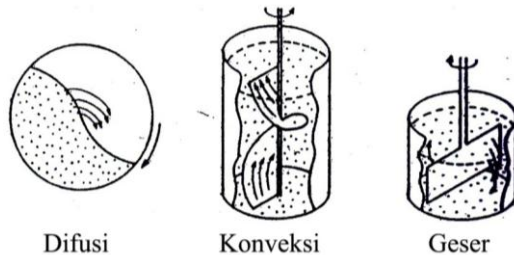
Gambar 2.4 Pengaruh *Zinc stearate* terhadap (1) densitas, (2) *Total Porosity*, (3) *Open Porosity*, dan (4) *Closed Porosity* Gaidarov (1988)

2.6 Proses Pengadukan

Proses pengadukan atau *mixing* adalah salah satu bagian dari proses metalurgi serbuk yang memiliki tujuan untuk meratakan distribusi campuran serbuk. Variabel yang berpengaruh dalam proses pengadukan adalah material serbuk, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan, dan kelembaban lingkungan (faktor eksternal). Mekanisme pengadukan serbuk ada tiga *diffusion mixing* yang dilakukan pada drum yang berputar, *convection* yang dilakukan pada pengaduk berulir dan *shear* yang dilakukan pada *blade mixer*. *Diffusion mixing* terjadi karena perpindahan tiap partikel serbuk menuju kumpulan partikel serbuk. Dengan adanya drum yang berputar secara kontinyu maka akan membuat partikel serbuk terus teraduk dan mengakibatkan adanya *intermixing* partikel serbuk. *Convective mixing* terjadi karena adanya perpindahan sekumpulan partikel menuju tempat lain yang berada dalam satu tempat pengadukan. *Shear Mixing* terjadi karena adanya aliran yang kontinyu dari serbuk sepanjang



bidang geser (German,1984). Metode pengadukan dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Metode pengadukan serbuk dengan pengadukan difusi, pengadukan konveksi, pengadukan geser (German,1984).

Efektivitas pengadukan dipengaruhi oleh gaya gesek antar partikel, semakin besar friksi antar partikel semakin sulit pengadukan dilakukan. Gaya gesek antar partikel dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel, semakin kecil partikel semakin besar friksi dan semakin banyak area kontak antar partikel semakin tinggi friksi yang terjadi. Selain itu efektivitas pengadukan dipengaruhi juga oleh kecepatan pengadukan. Ketika pengadukan dilakukan perlahan maka akan mengurangi efisiensi dikarenakan rendahnya pergerakan. Ketika pengadukan dilakukan dengan kecepatan tinggi maka gaya sentrifugal dalam pengadukan akan menghambat terjadinya pengadukan. Untuk itu diperlukan kecepatan pengadukan yang optimal. Kecepatan ini diestimasi dengan persamaan yang diberikan oleh Sundrica (German,1984).

$$N_o = \frac{32}{d^2} \dots\dots\dots \text{Pers (2.6)}$$

N_o = Putaran yang paling optimal (RPM)

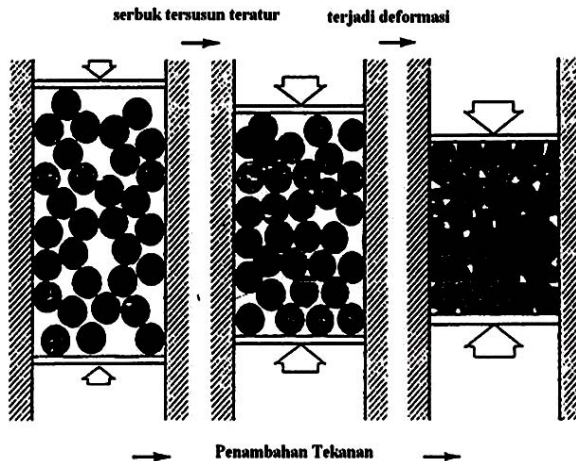
d = Diameter drum (m)



2.7 Warm compaction

Warm compaction adalah salah satu metode proses dari metalurgi serbuk yang lebih maju dibanding metode konvensional. Metode *warm compaction* dilakukan dengan memanaskan serbuk dan cetakan dalam satu waktu kemudian melakukan penekanan pada cetakan beserta serbuk (Hanejko, 1998). Temperatur dalam *warm compaction* didefinisikan dengan melihat kemampuan dari bahan pelumas yang dipakai. Kebanyakan pelumas serbuk yang dipakai pada metalurgi serbuk bekerja maksimal pada temperatur 90°C – 135°C dan mulai terdegradasi pada temperatur 150°C (Hoganas, 2004). Akibat adanya degradasi ini maka fungsi dari pelumas sebagai material yang mengurangi friksi antar partikel maupun friksi antara partikel dan dinding cetakan akan hilang. Sehingga *warm compaction* menggunakan temperatur dengan rentang 100°C - 150°C

Fenomena yang terjadi pada proses kompaksi diawali dengan terjadinya pergeseran, penyusunan kembali atau pemecahan partikel mungkin dapat terjadi sehingga menghasilkan struktur yang semakin padat dan pengurangan porositas. Fase awal ini bisa dianalogikan sebagai vibrasi dalam *tap density*. Ketika beban dilanjutkan untuk diberikan dan melebihi beban pada fasa awal maka akan menurunkan tempat kosong dan meningkatkan kontak antar partikel dan luas area kontak. Penambahan densitas pada fasa selanjutnya terjadi dikarenakan oleh perbesaran kontak antar partikel hingga terjadi deformasi plastis. Ketika tekanan kompaksi lebih ditingkatkan lagi, maka jumlah partikel yang terdeformasi plastis akan semakin meningkat. Dengan penekanan yang cukup, seluruh partikel akan terkena perkerasan regang sejalan dengan penurunan jumlah porositas (Comoglu, 2007). Fenomena dasar dari kompaksi dijelaskan dalam Gambar 2.6



Gambar 2.6 Fenomena dalam kompaksi, semakin tinggi penekanan semakin berkurang porositas yang didapat.

Dalam proses *warm compaction* penambahan temperatur dalam proses akan memberikan efek pada serbuk. Dengan ditambahkan energi dari temperatur akan menurunkan *yield strength* dari material serbuk dan akan meningkatkan keuletan serbuk (Chagnon, 2000). Dengan turunnya *yield strength* dari serbuk maka akan semakin besar kesempatan serbuk untuk berdeformasi plastis. Deformasi plastis dari serbuk akan memaksa serbuk untuk menutup rongga rongga yang ada sehingga akan meningkatkan densitas dari material *compact*.

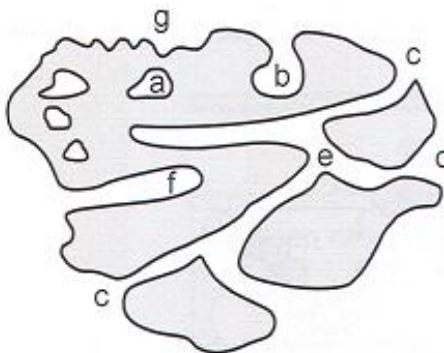
Proses *warm compaction* mampu memberikan keuntungan dibandingkan dengan metode tradisional. Dalam metode tradisional untuk meningkatkan massa jenis dari serbuk logam (termasuk serbuk tembaga) dapat dilakukan proses *Double Pressure/Double Sintering (DP/DS)*, serta forging pada serbuk. Pada metode ini memberikan proses tambahan maka akan memberikan biaya tambahan. Metode *warm compaction* dengan menambahkan temperatur saat pelaksanaan kompaksi memiliki tujuan untuk mendapatkan massa jenis dan sifat seperti yang didapatkan pada metode DP/DS hanya dengan satu proses



kompaksi. Sehingga mampu memangkas biaya yang dikeluarkan dengan cara tradisional.

2.8 Porositas

Pori adalah rongga, terusan dari rongga udara atau sela dari rongga udara dalam material dimana berbentuk lebih dalam daripada luasannya. Jenis-Jenis pori dapat dilihat dalam Gambar 2.7



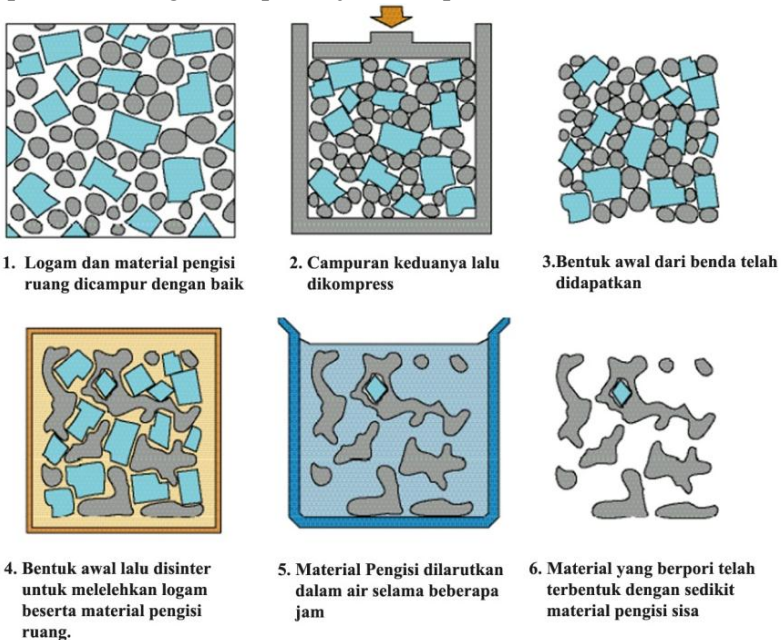
Gambar 2.7 Jenis Jenis Pori. (a) Pori tertutup, (b) (c) (d) (e) (f) Pori terbuka, (b) (f) Pori buntu. Berdasarkan bentuknya (c) Silinder terbuka, (f) Silinder Buntu, (b) Berbentuk botol tinta, (d) berbentuk corong, (e) Berbentuk Kasar (Zhou,2011)

Porositas adalah rasio dari total volume pori (V_p) terhadap *apparent volume* dari partikel atau serbuk. Porositas merupakan fraksi dari material yang total volumenya merupakan ruang kosong. Porositas terbuka dan porositas tertutup memiliki sedikit perbedaan. Hanya porositas terbuka yang memiliki kemampuan untuk melewatkan udara atau cairan melalui benda tersebut dan porositas terbuka memiliki kemampuan untuk menyaring partikel yang melewati benda tersebut. Sementara porositas tertutup cenderung lebih kecil dan terisolasi. Jumlah total dari porositas sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dari benda berpori.



Akan tetapi porositas terbuka adalah konsentrasi utama dalam penentuan umur aus dari *self lubricating bearing* (German,1984).

Salah satu cara dalam pembuatan logam berpori dengan metode metalurgi serbuk adalah dengan menggunakan metode penambahan *space-holding fillers*. Metode ini dilakukan dengan cara mencampurkan dan mengompaksi serbuk logam dengan *space-holder material* yang kemudian akan menghilang dengan pelarutan atau *thermal degradation* ketika dilakukan pemanasan (Kennedy,2012). Metode ini memiliki keuntungan yaitu morfologi dan ukuran dari pori bisa di atur dengan mengatur material pengisi dan powder metalnya. Mekanisme dari pembuatan logam berpori dijelaskan pada Gambar 2.8



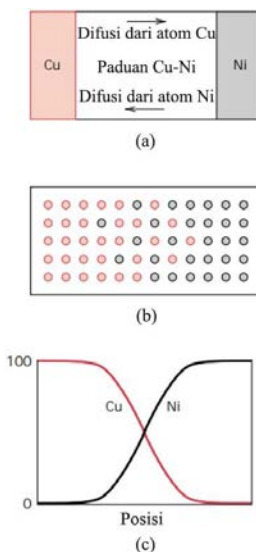
Gambar 2.8 Mekanisme pembuatan logam berpori dengan menggunakan material pengisi ruang. (Ashby,2000)



2.9 Difusi

Difusi adalah fenomena dari perpindahan material dalam skala atomik. Dalam percobaan menempelkan dua logam Cu dan Ni dan dipanaskan dibawah temperatur melting kedua logam dalam beberapa waktu, diketahui terjadi perpindahan massa tembaga ke dalam atom nikel. Dimana hasil yang terjadi adalah bagian dari tembaga, bagian dari nikel, dan bagian paduan tembaga-nikel. Proses berpindahnya atom tembaga kedalam atom nikel ini dinamakan *interdiffusion* (Callister, 2000).

Difusi terjadi akibat dua kondisi yang harus dipenuhi yaitu harus ada ruang kosong pada tempat yang akan dituju dan harus ada energi yang cukup untuk merusak ikatan atom disebelahnya sehingga atom tersebut bisa berpindah. Dalam Gambar 2.9 merupakan skema mekanisme difusi Cu-Ni (Callister, 2000).



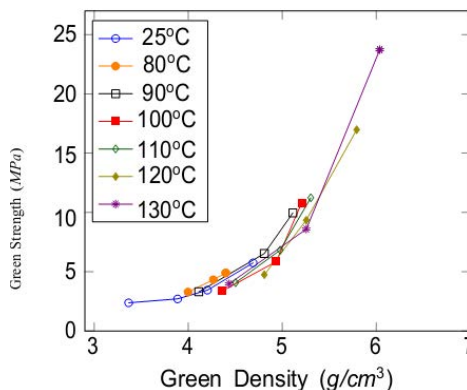
Gambar 2.9 (a) Zona difusi dari Cu-Ni (b) Representasi dari difusi dari atom Cu (berwarna) dan Ni (abu-abu) (c) Profil konsentrasi Cu-Ni dengan fungsi posisi.
(Callister, 2000)



Perpindahan atom dalam difusi memiliki beberapa kemungkinan, dua metode terjadi dalam difusi metalik yaitu *vacancy diffusion* dan *interstitial diffusion*. *Vacancy Diffusion* adalah difusi yang terjadi karena penggantian atom baru dari atom lama yang kosong. *Vacancy diffusion* memerlukan ruang kosong yang mempunyai besar sama atau lebih besar dari atom pengganti. Sementara *interstitial diffusion* terjadi akibat adanya penyisipan atom baru yang memiliki jari-jari atom yang lebih kecil kedalam sela-sela susunan atom yang telah ada. Mekanisme ini ditemukan dalam *interdiffusion* dari pengotor seperti hidrogen, karbon, nitrogen, dan oksigen (Unsur-unsur ini memiliki jari-jari atom yang cukup kecil untuk menyisip) (Callister, 2000).

2.9 Penelitian Sebelumnya

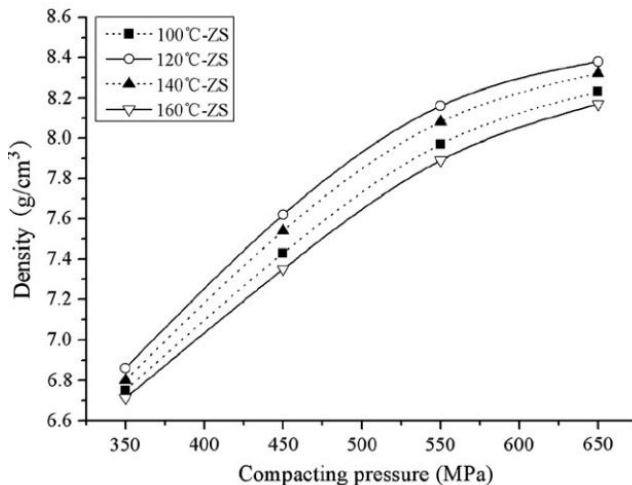
Proses pengerjaan serbuk dengan metode *warm compaction* sudah banyak dilakukan penelitian. Kazzaz (2014) telah meneliti tentang pembuatan material baja dengan menggunakan metode *warm compaction*. Penelitian ini dilakukan dengan serbuk baja *water atomized* dengan kemurnian 99,9% berukuran 50-90 μm . Variasi yang digunakan adalah temperatur kompaksi 25, 80, 90, 100, 110, 120, dan 130 $^{\circ}\text{C}$ dan tekanan kompaksi 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, dan 400 MPa. Dihasilkan *green strength* maksimal pada temperature 130 $^{\circ}\text{C}$ serta didapatkan pula densitas tertinggi pada temperatur 130 $^{\circ}\text{C}$. seperti Gambar 2.7





Gambar 2.10 Kekuatan green pada variasi temperatur kompaksi dengan fungsi densitas green (Kazzaz, 2014)

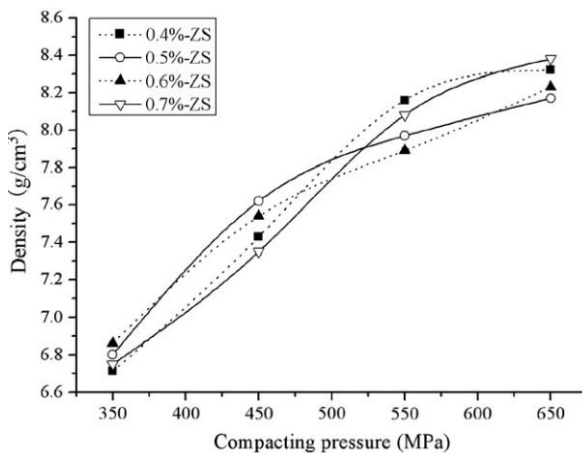
Feng (2012) melakukan penelitian *warm compaction* yang menggunakan penambahan variasi *Zinc stearate* dan temperatur kompaksi terhadap proses kompaksi yang ditambahkan temperatur dari komposit berbasis Cu. Feng menggunakan serbuk Cu-Re dan dengan penambahan *Zinc stearate* dengan kadar 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 wt% selanjutnya dicampur dalam ball mill selama 30 menit. Serbuk dan cetakan kemudian dipanaskan bersama menggunakan variasi temperatur kompaksi 100, 120, 140, 160°C lalu dikompaksi dengan variasi tekanan kompaksi 350, 450, 550, dan 650 MPa. Feng juga mendapatkan bahwa semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan maka akan semakin tinggi densitas yang dihasilkan. Hasil densitas yang paling optimum pada temperatur kompaksi 120°C dan tekanan 650 MPa sesuai dengan Gambar 2.11



Gambar 2.11 Efek temperatur terhadap densitas sebagai fungsi tekanan kompaksi



Densitas juga didapatkan optimum pada penambahan *Zinc stearate* 0,4wt% dan tekanan kompaksi 650 Mpa seperti Gambar 2.12. Terlihat adanya tekanan transisi dimana terjadi perubahan efek penambahan *zinc stearate*. Pada tekanan sebelum kurang lebih 530 MPa densitas tertinggi didapatkan dengan penambahan *Zinc stearate* 0,5% dan terendah pada penambahan *Zinc stearate* 0,7% namun ketika tekanan ditingkatkan lebih dari 530 MPa tepatnya pada tekanan 650 MPa terjadi perubahan, densitas tertinggi didapatkan ketika penambahan *Zinc stearate* 0,7% dan terendah didapatkan dengan penambahan *Zinc stearate* 0,5%.



Gambar 2.12 Efek temperatur terhadap densitas sebagai fungsi tekanan kompaksi

Ngai (2005) menggunakan penelitian *warm compaction* terhadap serbuk Cu dengan kemurnian tinggi (99,7%) dengan menggunakan variasi temperatur kompaksi dari 25-200°C, *Zinc stearate* 0,02; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4 wt% dan serta tekanan kompaksi 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 MPa. Dihasilkan



kenaikan *green density* seiring dengan kenaikan tekanan kompaksi. Dengan hasil optimum pada tekanan 700 MPa. Sementara dengan penambahan temperatur terjadi fluktuasi *green density*. *Green density* naik dari temperatur kamar sampai dengan 100°C lalu turun saat dinaikkan temperaturnya sampai 120°C dan naik kembali secara signifikan sampai dengan temperatur 135°C dan turun kembali ketika dinaikkan temperaturnya. Efek variasi *Zinc stearate* akan naik dari 0 wt% sampai dengan 0,15 wt% yang mencapai puncak *green density* yang dapat dicapai lalu kembali turun hingga 4 wt% dari *Zinc stearate*.

Nassef (2016) melakukan penelitian mengenai *warm compaction* Cu-10%Sn dengan menggunakan Cu dan Sn lebih dari 99% dan rata rata ukuran 10 μm . Lalu serbuk di ball mill selama 30 menit. Selanjutnya serbuk dipanaskan hingga temperatur mencapai 550°C dan ditekan dengan tekanan 314,38 MPa dan ditahan 30 Menit. Didapatkan hasil kekuatan tekan dari komposit Cu10wt%Sn maksimal pada kurang lebih 560 MPa.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Cu sebagai *matriks* dan serbuk Sn sebagai pengikat (*binder*).

1. Serbuk Cu

Serbuk Cu dengan kemurnian 99% produk Merck dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm ³
Temperatur leleh	: 1083°C
Ukuran serbuk	: <63 µm



Gambar 3.1 Serbuk Cu (Tembaga)

2. Serbuk Sn

Serbuk Sn dengan kemurnian 99,8% produk Merck dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 118,71 g/mol
Densitas	: 7,3 g/cm ³
Temperatur leleh	: 232°C
Ukuran serbuk	: <45 µm



Gambar 3.1 Serbuk Sn (Timah)

3. Pelumas

Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antara serbuk dengan dinding cetakan saat dilakukan kompaksi. Pelumas yang digunakan adalah *Zinc stearate* produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas	: 1,09 g/cm ³
Temperatur leleh	: 130°C



Gambar 3.3 Pelumas *Zinc Stearat*



4. Pelarut Polar

Pelarut polar yang digunakan yaitu ethanol karena mudah menguap sehingga mempermudah dalam proses pengeringan serbuk.

3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Beaker glass*

Beaker glass ditunjukkan pada Gambar 3.4 digunakan sebagai tempat pencampuran serbuk.



Gambar 3.4 *Beaker glass*

2. Masker dan sarung tangan

Masker ditunjukkan pada Gambar 3.5 digunakan sebagai alat pelindung diri dari serbuk yang masuk kedalam pernafasan



Gambar 3.5 Masker

3. Sarung tangan

Sarung tangan ditunjukkan pada Gambar 3.6 digunakan sebagai alat pengamanan diri dari panas.



Gambar 3.6 Sarung tangan

4. Spatula

Spatula ditunjukkan pada Gambar 3.7 digunakan untuk mengambil serbuk Cu dan Sn.



Gambar 3.7 Spatula

5. *Dies*

Dies ditunjukkan pada Gambar 3.8 sebagai cetakan untuk menghasilkan bentuk pellet saat proses kompaksi.



Gambar 3.8 *Dies*

6. *Magnetic stirrer*

Magnetic stirrer ditunjukkan pada Gambar 3.9 digunakan pada saat proses pencampuran serbuk Cu dan Sn.



Gambar 3.9 *Magnetic stirrer*

7. Jangka sorong

Jangka sorong ditunjukkan pada Gambar 3.10 digunakan untuk mengukur dimensi dari pellet komposit Cu-Sn setelah dikompaksi.



Gambar 3.10 Jangka sorong

8. Neraca digital

Neraca digital merk Metler Toledo ditunjukkan pada Gambar 3.11 digunakan untuk menimbang massa serbuk Cu dan Sn serta sampel setelah proses sintering.



Gambar 3.11 Neraca digital



9. Alat Pemanas Cetakan

Alat pemanas cetakan ditunjukkan pada Gambar 3.12 digunakan untuk memanaskan dies saat preparasi *warm compaction*.



Gambar 3.12 Mesin Pemanas Dies

10. Alat kompaksi

Alat kompaksi ditunjukkan pada Gambar 3.13 menggunakan tekanan 300, 400, dan 500 MPa. Alat ini digunakan untuk memampatkan serbuk Cu dan Sn yang telah dicampur sebelum dilakukan sintering.



Gambar 3.13 Alat kompaksi



11. Alat uji tekan (*Universal Testing Machine*)

Alat ini *Universal Testing Machine* merk Gotech GT-7001-LC50 ditunjukkan dengan Gambar 3.14 digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel komposit Cu-Sn setelah diproduksi dengan proses metalurgi serbuk. Modulus elastisitas didapatkan melalui kurva tegangan regangan di daerah elastis yang ditunjukkan oleh sifat mekanik.

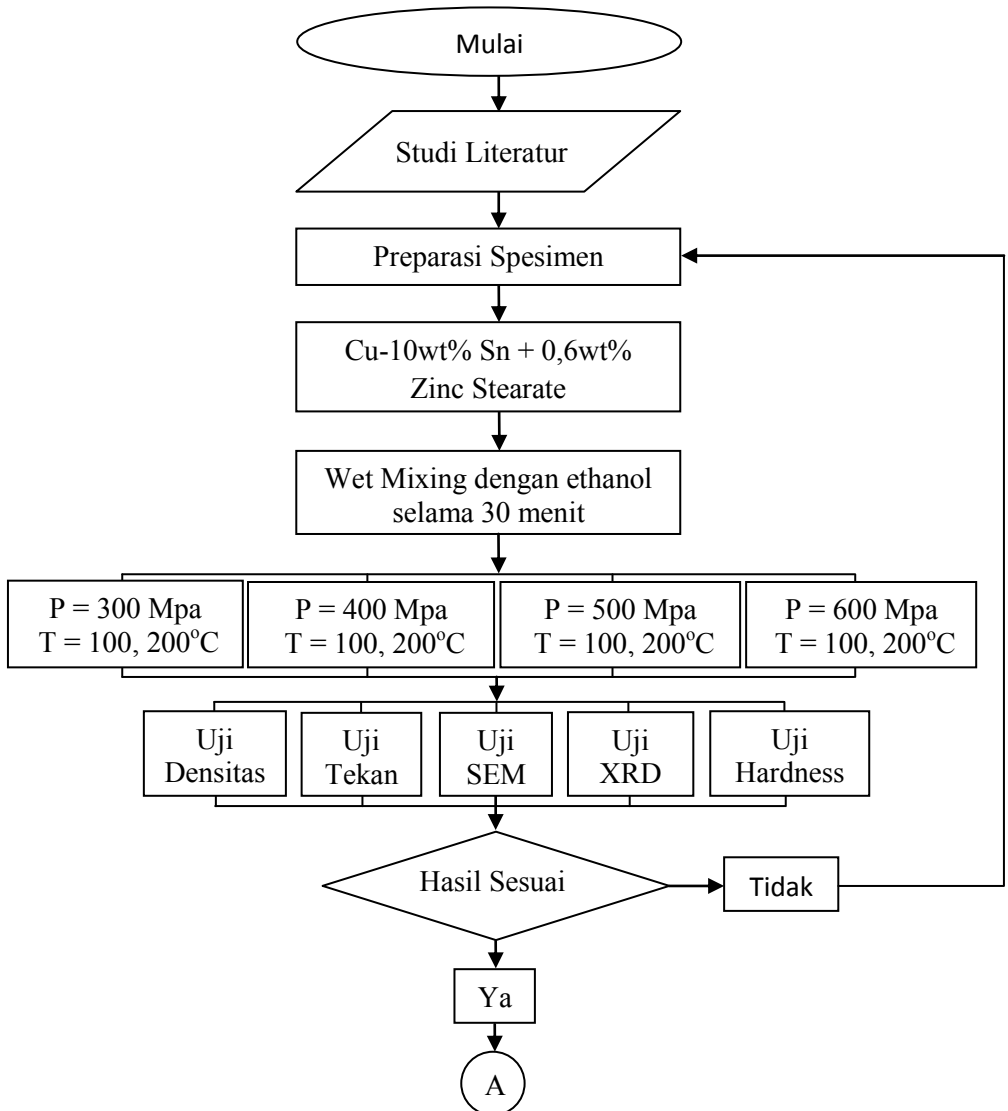


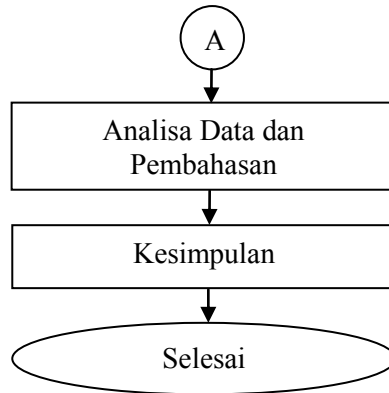
Gambar 3.14 alat uji tekan



3.3 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini digunakan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.15





Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Preparasi Bahan

Preparasi bahan dilakukan sebelum melakukan percobaan, langkah untuk preparasi bahan adalah :

1. Penimbangan serbuk berdasarkan persentase berat yang telah ditentukan. Penentuan massa serbuk menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4. Komposisi yang digunakan yaitu Cu-10%wtSn ($m_m = 6,807834$ gr; $m_f = 0,756426$ gr)
2. Pencampuran serbuk Cu-Sn menggunakan metode *wet mixing*, yaitu dilakukan dengan cara memasukkan serbuk kedalam *beaker glass* yang ditambahkan *Zinc stearate* sebanyak 0.04538556 gr (0,6wt%), dari berat Cu-Sn dan ditambahkan ethanol sebanyak 10 tetes dan ditutup dengan aluminium foil kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 150 rpm, temperatur 90°C selama 30 menit untuk setiap sampel.

3.3.2 Proses Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan serbuk yang telah dicampur ke dalam cetakan.



2. Melakukan kompaksi dengan tekanan 300, 400, 500, dan 600 MPa dan temperatur tekan 100, dan 200°C lalu ditahan selama 10 menit.
3. Menimbang massa sampel *pellet* hasil kompaksi menggunakan neraca digital (merk Metler Toledo).
4. Mengukur tinggi sampel pellet menggunakan jangka sorong.
5. Mengukur massa jenis dari pellet dengan menggunakan teknik Archimedes.
6. Melakukan pengujian kekerasan terhadap pellet menggunakan hardness rockwell F dan diulang sebanyak 3 indentasi.
7. Melakukan pengujian fasa menggunakan alat X-Ray Diffraction untuk mengetahui fasa apa yang terjadi pada komposit Cu-Sn.
8. Melakukan pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui morfologi dari permukaan komposit Cu-Sn.
9. Melakukan pengujian tekan untuk mengetahui kekuatan tekan dari material.

3.3.3 Pengujian

1. Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dilakukan dengan teknik Archimedes.

$$\rho_c = \frac{W_D}{V} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana:

ρ_c = densitas komposit (g/cm³)

W_D = massa komposit kering(g)

V = Volume komposit (cm³)

Volume komposit dihitung menggunakan rumus

$$V = \frac{W_s}{D_w} \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :



V = Volume komposit (cm^3)

W_s = Massa komposit dalam air (g)

D_w = Densitas air (g/cm^3)

(Effendi, 2008)

Pengujian porositas diukur dengan menggunakan rumus :

$$\phi = 1 - \frac{\rho_p}{\rho_t} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

ρ_t = Densitas teoritis (g/cm^3)

ρ_p = Densitas percobaan (g/cm^3)

ϕ = Porositas (%)

(Vicko, 2014)

2. Pengujian Tekan

Pengujian tekan adalah sebuah alternatif pengujian yang digunakan untuk mendapatkan sifat mekanik selain menggunakan pengujian tarik. Pengujian tekan dilakukan dengan meletakkan benda uji pada dua plat datar atas bawah dimana plat atas menekan kebawah dan plat bawah menekan keatas, sehingga menekan benda uji (Mitchell, 2003). Pengujian dilakukan dengan *strain rate* alat 0.5 mm/mm.min. Proses pengujian tekan diakhiri hingga terjadi kerusakan pertama pada material. Hasil dari pengujian tekan adalah didapatkan grafik tegangan dan regangan material yang diuji. Berdasarkan grafik tersebut dapat didapatkan sifat mekanik meliputi kekuatan tekan dan modulus elastisitas. (ASM Metals Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation, 2000)

Langkah pengujian tekan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Melakukan preparasi spesimen sehingga permukaan sampel pada bagian atas dan bawah yang mendapatkan kontak dengan *punch* rata



- 2) Pengukuran dimensi sampel yaitu diameter dan tinggi dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas permukaan yang dikenai beban.
- 3) Meletakkan sampel pada *punch* dengan posisi *punch* atas hampir menyentuh sampel
- 4) Memilih laju beban pada mesin uji kemudian memberikan beban secara kontinu dengan kenaikan beban laju pembebanan tertentu.
- 5) Mengamati defleksi yang terjadi pada sampel
- 6) Menghentikan pengujian ketika sampel telah terjadi deformasi plastis

Menurut Nematzadeh (2012) hubungan antara modulus elastisitas dan *compressive strength* dapat dinyatakan dengan persamaan

$$E = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana : E = Modulus Elastisitas (GPa)

f_{cm} = *Compressive Strength* (MPa)

3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material. Pengujian metode Rockwell memiliki beberapa skala pada penggunaannya tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan. Skala dari Rockwell hardness dapat dilihat pada tabel 3.1 Kekerasan Rockwell F dengan indenter berupa bola baja dengan beban 60 kg. Rockwell F digunakan untuk material yang memiliki kekerasan yang rendah.

Langkah pengujian kekerasan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Meratakan permukaan sampel yang akan diuji dengan menggunakan *grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 180, 240, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000



- 2) Sampel diletakkan pada *holder* khusus untuk menjepit sampel uji *hardness* dengan ukuran kecil
- 3) Pada mesin uji dipilih indenter bola pejal untuk uji kekerasan dengan skala Rockwell F. Kemudian melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat indentasi

Tabel 3.1 Besar Beban Utama dan Jenis Indenter untuk Metode Rockwell (ASM vol 8)

Skala	Beban Utama (Kgf)	Indenter	Aplikasi
A	60	<i>Brake</i>	<i>Cemented carbides, thin steel</i>
B	100	1/16" bola	Paduan tembaga, <i>soft steels</i>
C	150	<i>Brake</i>	Baja, <i>hard cast iron</i>
D	100	<i>Brake</i>	<i>Thin steel</i>
F	60	1/16" bola	Besi tuang, Aluminium
G	150	1/16" bola	<i>Malleable iron, phosphor bronze</i>

4. Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscopy berfungsi untuk mengetahui struktur mikro sehingga tingkat homogenitas sampel dan daerah *interface* dapat diketahui. SEM memakai elektron untuk menentukan struktur permukaan sampel, elektron disini menggantikan peran gelombang cahaya yang digunakan dalam mikroskop optik. Pemakaian elektron ini menghasilkan resolusi tinggi (perbesaran 10-100.000 kali dan kedalaman 3-100nm). *Secondary Electron* hanya memberikan tampilan gelap terang topografi sampel. Hasil yang gelap berupa lubang atau bagian yang rendah sementara hasil yang terang berupa permukaan yang menonjol.



Langkah pengujian SEM adalah sebagai berikut :

1. Sampel di ratakan dan dihaluskan dengan menggunakan amplas grade 1500 dan 2000 lalu dietsa dengan larutan 3 g FeCl_3 , 50 mL of water, 25 mL of HCl, and 100 mL etanol.
2. Sampel diletakkan pada *holder*, dimana *holder* telah ditempel dengan *tape*
3. Spesimen kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* dengan kondisi vakum. Spesimen yang digunakan telah dilakukan proses pemotongan *cross section* agar fasa dan senyawa yang terbentuk dapat terlihat dengan jelas.
4. Setelah diletakkan pada *holder* kemudian spesimen dimasukkan ke dalam mesin. Selanjutnya hasil bisa diamati menggunakan komputer.

5. Pengujian XRD

XRD bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa struktur material dan mengetahui fasa yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji setelah diberikan treatment. Langkah pengujian XRD yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Sampel diletakkan pada *holder*, agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan, maka spesimen harus memiliki permukaan yang rata dengan *holder*. Agar *peak* yang dihasilkan tidak terlalu tinggi maka spesimen harus memiliki tinggi tidak lebih dari 10 mm.
2. *Holder* diletakkan pada mesin XRD.
3. Data yang ditampilkan pada layar komputer berupa grafik dengan puncak pada sudut tertentu
4. Data hasil uji dianalisa dengan mencocokkan dengan data kartu ICCD.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

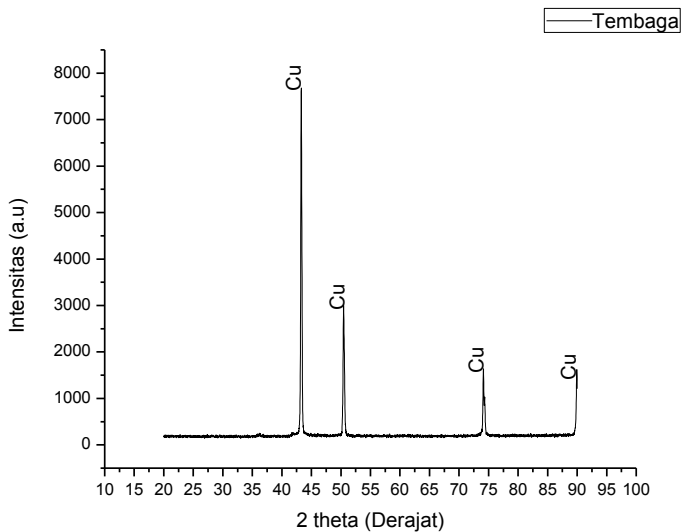
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Karakterisasi Serbuk Cu dan Sn

Dalam analisa suatu penelitian mengenai suatu material, langkah awal yang dilakukan adalah karakterisasi bahan. Karakterisasi dilakukan pada bahan pembuat komposit Cu10%Sn yaitu serbuk Tembaga dan serbuk Timah. Karakterisasi dilakukan menggunakan pengujian SEM dan XRD. Pengujian XRD dilakukan terhadap serbuk bahan untuk melihat tingkat kemurnian bahan yang didapatkan. Sementara pengujian SEM dilakukan untuk mendapatkan morfologi serbuk bahan yang dipakai.

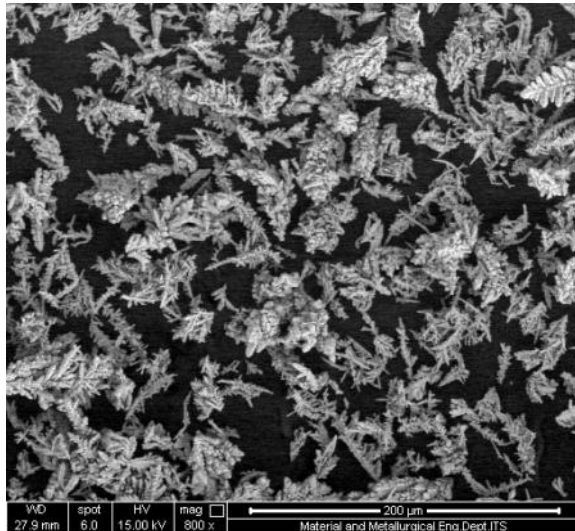


Gambar 4. 1 Grafik hasil XRD serbuk Tembaga

Hasil pengujian XRD serbuk Tembaga ditunjukkan pada Gambar 4.1. dari gambar terlihat bahwa fasa yang diketahui adalah fasa Cu. Hasil ini didapatkan dengan cara mencocokkan peak atau puncak yang dihasilkan oleh alat XRD dengan data

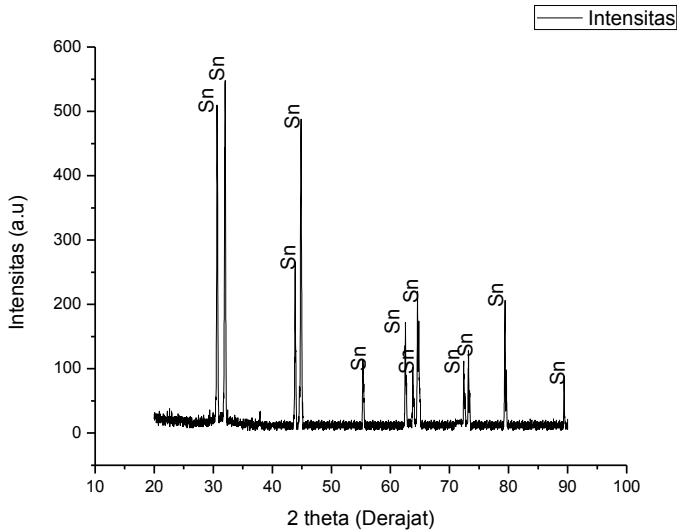


PDF Card. PDF Card yang digunakan pada identifikasi ini adalah PDF Card bernomor 00-004-0836 yang merupakan nomor ICDD dari unsur Cu. Dari Gambar 4.1 terlihat tidak ditemukan unsur lain yang menjadi pengotor, dapat disimpulkan bahwa serbuk tersebut adalah serbuk Tembaga yang memiliki kemurnian yang tinggi.



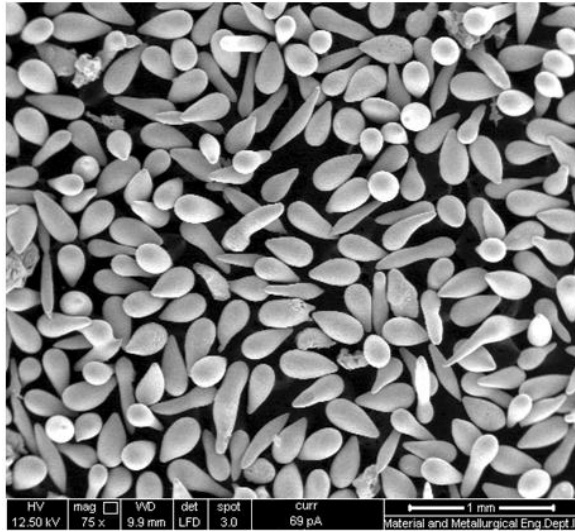
Gambar 4. 2 Gambar SEM serbuk Tembaga

Dari Gambar SEM diatas terlihat serbuk Cu berbentuk dendritik. Menurut Pavlovic (2010) Proses atomisasi dengan menggunakan metode elektrolisis akan menghasilkan bentuk serbuk yang dendritik dengan kemurnian kurang lebih 99% yang dapat ditekan dan disinter dengan mudah. Bentuk dendritik serbuk Cu dendritik ini akan meningkatkan kemungkinan *interlocking* antar serbuk. Peningkatan *interlocking* ini akan meningkatkan interaksi permukaan dari serbuk sehingga poros yang terbentuk akan semakin kecil (German, 1984).



Gambar 4.3 Grafik hasil XRD serbuk Timah

Hasil pengujian XRD serbuk Timah ditunjukkan pada Gambar 4.3. Terlihat bahwa pada hasil XRD fasa yang muncul adalah fasa Timah (Sn). Dapat diketahuinya fasa yang muncul ini didapatkan dengan cara mencocokkan puncak yang didapatkan dari hasil alat XRD dengan data PDF card. Dari hasil identifikasi data XRD cocok dengan data ICDD dengan nomor 00-004-0673 yaitu nomor kartu yang dimiliki oleh unsur Sn putih. dari Gambar tidak ditemukan pula unsur lain yang diidentifikasi sebagai pengotor, maka bisa dikatakan bahwa serbuk Sn yang digunakan memiliki kemurnian yang tinggi. Gambar 4.4 menunjukkan hasil dari scanning electron microscopy (SEM) dari serbuk Timah. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa bentuk dari serbuk Sn yang terbentuk adalah bentuk tetesan air atau *tear drop*. Biasanya serbuk seperti ini diproduksi menggunakan metode atomisasi sentrifugal.



(b)

Gambar 4.4 Gambar SEM serbuk Timah

4.1.2 Proses Pembuatan *Pellet* Cu10Sn

Dalam pembuatan *pellet* Cu10%Sn digunakan material serbuk Cu dengan ukuran $<63 \mu\text{m}$ dan kemurnian 99% produksi Merck dengan warna coklat kemerahan agak cerah, material serbuk Sn dengan ukuran $<45 \mu\text{m}$ dan kemurnian 99,8% produksi merk dengan warna abu-abu kehijauan agak gelap, dan *Zinc stearate* produksi Sigma-Aldrich dengan warna putih terang. Proses dimulai dengan pencampuran bahan bahan serbuk Cu dan Sn serta *Zinc stearate* dalam beaker glass dan ditambahkan *ethanol* sebagai pelarut polar. Penambahan *ethanol* ini dimaksudkan untuk mencegah adanya oksidasi pada saat pencampuran. Kemudian serbuk beserta alkohol dicampur dengan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan 150 rpm agar serbuk tercampur merata. Hasil serbuk setelah proses pencampuran adalah berwarna dominan coklat kemerahan seperti warna serbuk Tembaga namun terlihat lebih gelap dari pada



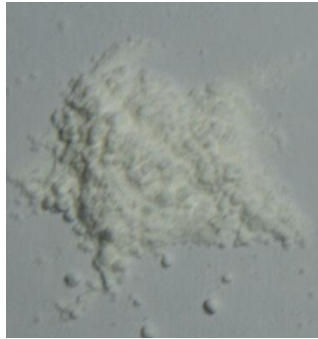
warna serbuk Tembaga sebelum dicampur. Tidak ada lagi warna abu-abu kehijauan dan putih seperti warna Sn dan *Zinc stearate*. Hal ini karena komposisi Tembaga mendominasi yaitu sebesar 90 wt%. Serbuk Cu, Sn, dan *Zinc stearate*. serta serbuk setelah *mixing* ditunjukkan oleh Gambar 4.3



Gambar 4.5 Tampilan fisik serbuk Tembaga sebelum dicampur



Gambar 4.6 serbuk Timah sebelum dicampur



Gambar 4.7 serbuk *Zinc stearate* sebelum dicampur

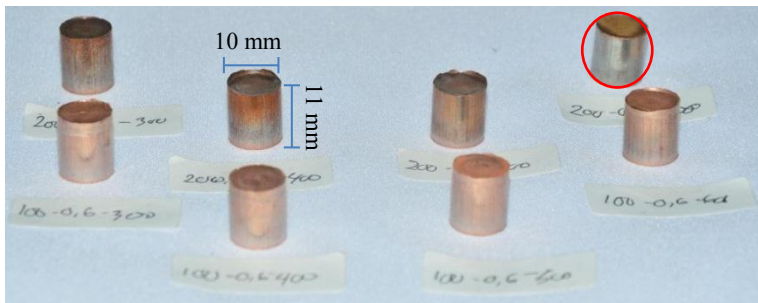


Gambar 4.8 Hasil campuran serbuk Tembaga, Timah, dan *Zinc stearate*.

Selanjutnya serbuk setelah mixing dimasukkan pada proses warm kompaksi. sebelum melakukan kompaksi dilakukan pelumasan terhadap cetakan kompaksi terlebih dahulu dengan metode *die wall lubricating*, yaitu dengan mengoleskan serbuk *Zinc stearate* pada bagian dinding cetakan secukupnya. Hasil yang didapatkan dalam proses warm kompaksi berupa *green pellet* yang memiliki ketinggian $\pm 1,1$ cm. Adanya kelebihan tinggi ini dikarenakan adanya rongga atau poros yang masih Cukup besar. Hal ini bisa terlihat dari Gambar 4.10 dan 4.11 dimana hasil porositas masih berada pada kisaran 6-12%.



Pada permukaan hasil *pellet* setelah proses *warm compaction* terlihat adanya perbedaan warna. Pada tekanan dan temperatur rendah terdapat sedikit warna perak muncul dipermukaan dan semakin tinggi tekanan dan temperatur diberikan, keberadaan warna perak pada permukaan *pellet* semakin banyak. Terlihat pada temperatur 200°C dan tekanan 600 MPa warna perak muncul diseluruh permukaan dinding *pellet*. Munculnya warna perak ini dikarenakan dengan penambahan temperatur pelumas *Zinc stearate* akan mulai meleleh dan penambahan tekanan akan menyebabkan lelehan *Zinc stearate* meluber dan melapisi permukaan benda (Thomas,2001). Pada ujung permukaan yang berkontak dengan ujung *punch* atas dihasilkan *tail* atau material yang meluber dikeliling permukaan atas *pellet*. Adanya *tail* ini menandakan adanya deformasi plastis yang mengakibatkan masuknya sedikit material kedalam rongga antara dies dan *punch* atas saat kompaksi dilakukan. Bentuk *tail* yang muncul dalam *pellet* dan adanya warna perak pada permukaan *pellet* bisa dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.



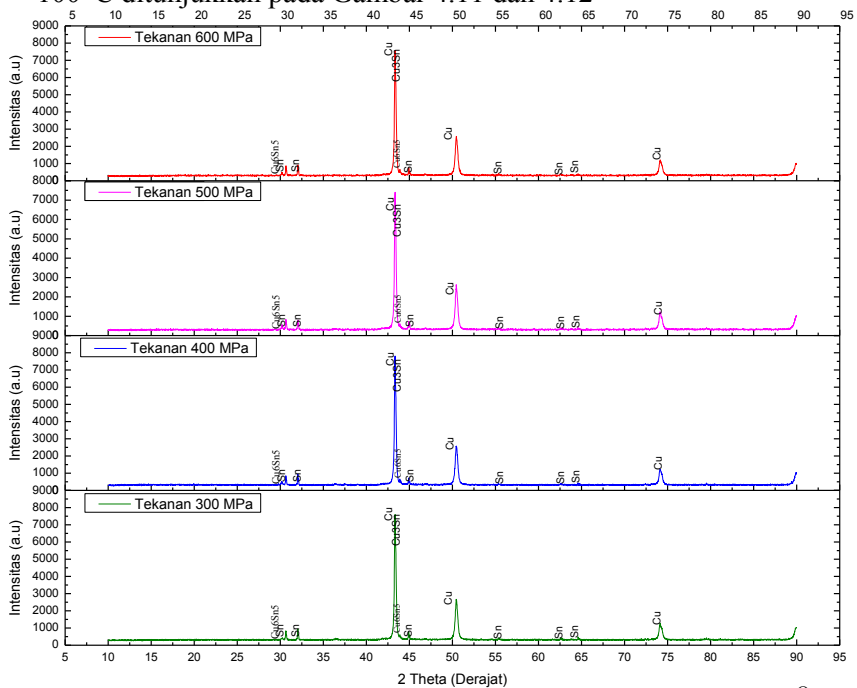
Gambar 4. 9 Hasil *green pellet* dari setiap variabel dan lingkaran merah menunjukkan adanya warna perak diseluruh permukaan sampel.



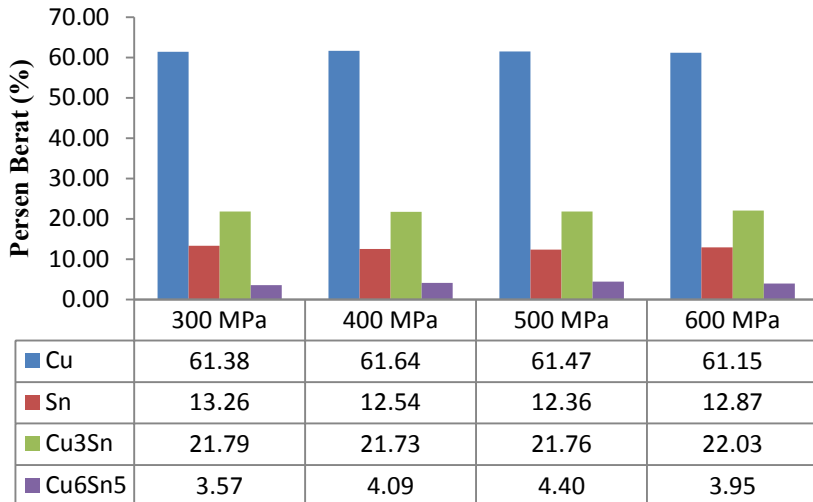
Gambar 4.10 perbesaran sampel tekanan 600 MPa temperatur 200°C yang menunjukkan adanya *tail*

4.1.3 Hasil Analisa XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada hasil sampel yang telah dibuat. Hasil pengujian XRD dan analisis kuantitatif dari sampel temperatur kompaksi 100°C ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12



Gambar 4.11 Hasil analisa puncak XRD sampel temperatur 100°C .



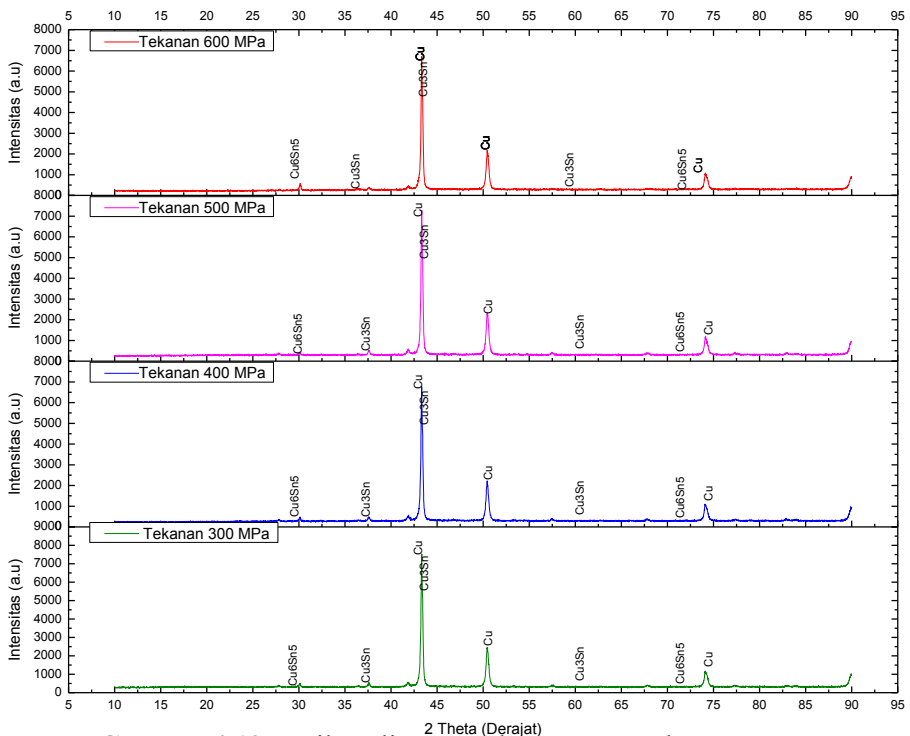
Gambar 4.12 Hasil analisa kuantitatif XRD sampel temperatur 100°C

Dari hasil XRD Gambar 4.12, pada seluruh variasi tekanan yang diberikan, ditemukan puncak tertinggi yang muncul dengan rentang nilai 2θ $43,31^\circ - 43,32^\circ$. Setelah dilakukan identifikasi menggunakan PDF Card, puncak dalam rentang 2θ ini teridentifikasi sebagai Cu dengan nomor ICDD 01-085-1326 yaitu sebesar $43,317^\circ$. Selain itu puncak lain yang teridentifikasi adalah puncak dengan rentang nilai 2θ $50,42^\circ - 50,43^\circ$ Puncak tersebut mendekati nilai dari kartu PDF Cu dengan nomor kartu 00-004-0836 yaitu sebesar $50,434^\circ$. Unsur Sn dengan nomor Kartu PDF 00-004-0673 juga teridentifikasi pada seluruh tekanan divariabel temperatur kompaksi 100°C. unsur teridentifikasi pada rentang nilai $32,030^\circ - 32,037^\circ$ dan $44,915^\circ - 44,923^\circ$. Fasa intermetallik juga teridentifikasi dalam hasil XRD. Fasa intermetallik yang muncul adalah fasa Cu₃Sn (01-071-7871) dan Cu₆Sn₅ (01-072-8761) yang teridentifikasi pada rentang nilai $43,430^\circ - 43,436^\circ$ dan $30,173^\circ - 30,177^\circ$.

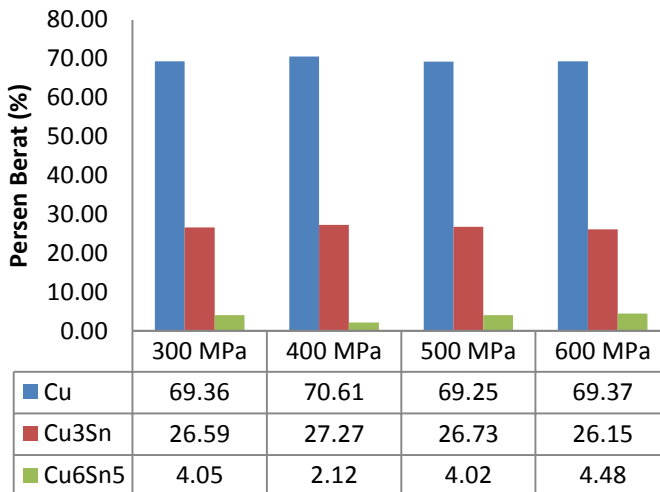
Bila dilihat, antara variasi tekanan 300 MPa – 600 MPa tidak begitu ada perbedaan yang berarti dalam senyawa yang



terbentuk. Hasil ini didukung dengan Gambar 4.12 yang menunjukkan bahwa persen berat dari senyawa yang terbentuk tidak menunjukkan adanya perbedaan yang berarti. Munculnya puncak yang menunjukkan fasa Sn pada variasi temperatur 100°C dan tekanan 300-600 MPa, dikarenakan temperatur yang diberikan masih berada dibawah rentang temperatur leleh dari Sn. Namun Sn yang tersisa dalam komposit hanya sekitar 4 %, hal ini membuktikan bahwa serbuk Sn sebagian telah bereaksi dengan serbuk Cu untuk membentuk intermetallik. Fasa intermetallik umumnya memiliki kekuatan dan kekerasan tinggi serta rapuh dan memiliki titik leleh yang tinggi (Vicko,2015).



Gambar 4.12 Hasil analisa puncak XRD sampel temperatur 200°C .



Gambar 4.13 Hasil analisa kuantitatif XRD sampel temperatur 200°C

Dari Grafik hasil XRD variabel temperatur kompaksi 200°C diatas terlihat terdapat beberapa senyawa yang terbentuk. Namun terdapat perbedaan berarti pada hasil XRD dibanding variabel temperatur kompaksi 100°C, dimana unsur Sn tidak terbentuk. Setelah peak peak tersebut diidentifikasi unsur Cu mempunyai peak tertinggi dari senyawa lain. Unsur Cu dengan nomor kartu ICDD 01-085-1326 muncul pada rentang 2θ 43.3042° – 43.3123° dan muncul peak kecil pada rentang 2θ 74.114° – 74.123°. Terdapat pula Cu dengan nomor ICDD 00-004-0836 pada rentang 50.418° – 50.428°. Sementara senyawa Cu₆Sn₅ (01-072-8761) muncul pada rentang 2θ 30,146° – 30.190°. Intermetallik Cu₃Sn (01-071-7871) tercatat muncul pada rentang 2θ 37.560° – 37.566° dan terdapat peak tinggi disamping peak Cu pada rentang 2θ 43.4173° – 43.4253°.

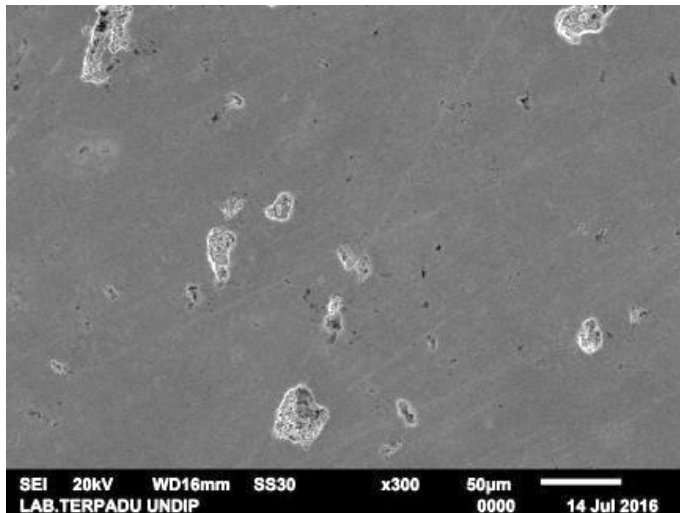
Pada hasil analisa puncak XRD beserta analisa kuantitatif tidak ditemukan adanya fasa Sn. Hilangnya fasa Sn pada temperatur kompaksi 200°C dikarenakan temperatur operasi



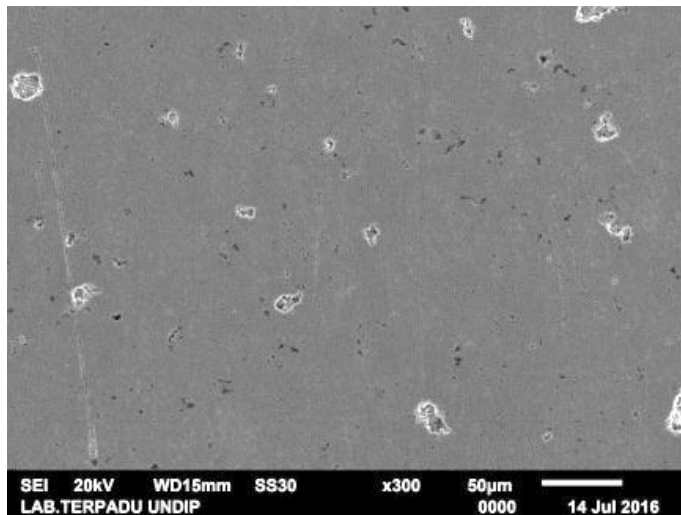
sudah mendekati temperatur leleh dari Sn. Hilangnya Sn disertai munculnya fasa intermetallik yang lebih banyak sehingga Sn yang hilang telah berganti menjadi fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn . Bergantinya fasa Sn menuju fasa intermetallik ini berkorelasi dengan kenaikan kekuatan dan kekerasan dari material. Kekerasan dari fasa intermetallik lebih keras dari unsur murni.

4.3.2 Hasil Analisa SEM-EDX

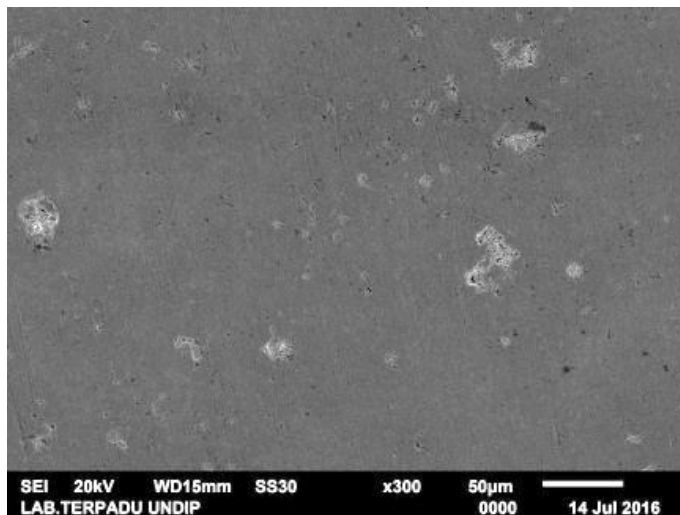
Dalam penelitian ini pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Pengamatan material pascakompaksi dilakukan untuk mengamati morfologi dari permukaan material sampel Sehingga terlihat distribusi dari porositas dan bagaimana efek variabel terhadap material sampel, serta senyawa yang terbentuk sebagai hasil dari perlakuan yang diberikan pada material yang dibuat. Pengamatan mikrostruktur sampel dengan temperatur 100°C dapat dilihat dari Gambar 4.14 sampai Gambar 4.17



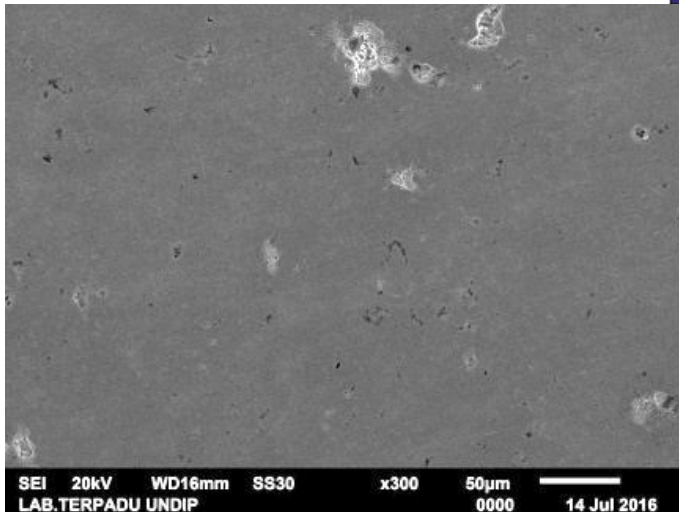
Gambar 4.14 Hasil SEM temperatur 100°C tekanan 300 MPa.



Gambar 4.15 Hasil SEM temperatur 100°C tekanan 400 MPa.



Gambar 4.16 Hasil SEM temperatur 100°C tekanan 500 MPa.



Gambar 4.17 Hasil SEM temperatur 100°C tekanan 600 MPa.

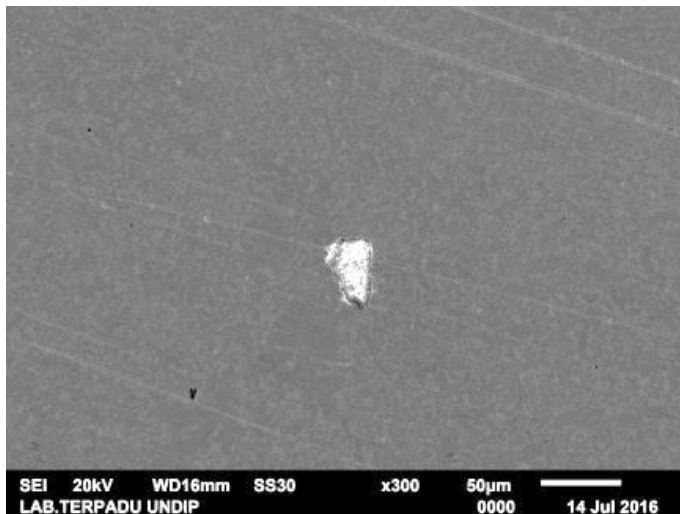
Dari Gambar 4.14 – Gambar 4.17 dapat dilihat dari setiap sampel terdapat lubang – lubang tersebar di permukaan. Lubang atau porositas ini semakin tinggi tekanan yang diberikan semakin berkurang jumlah lubang yang ada. Pengurangan lubang ini akibat adanya tekanan yang memaksa material untuk mengisi ruang kosong antar partikel sehingga akan mengurangi jarak antar partikel dan berakibat turunnya porositas. Pada tekanan 300 MPa terlihat porositas yang Cukup banyak dan besar. Tekanan 400 MPa porositas menjadi kecil namun masih dengan bentuk porositas yang mirip dengan pada tekanan 300 MPa. Tekanan 500 dan 600 MPa memiliki perbedaan jumlah porositas yang tidak terlalu berbeda namun cenderung terlihat banyak porositas pada tekanan 600 MPa.

Selain porositas terlihat pula daerah warna putih yang diindikasikan sebagai daerah yang mengandung Sn. Daerah yang mengandung Sn ini berkumpul pada daerah porositas dan sedikit berkumpul pada daerah abu abu gelap. Seiring peningkatan

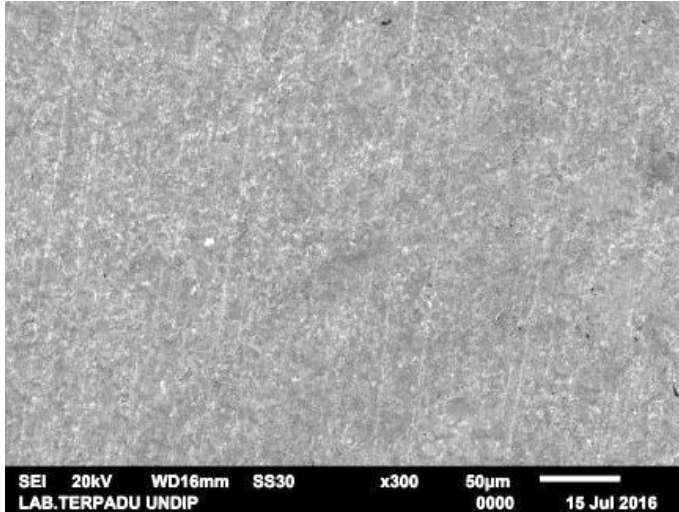


tekanan yang diberikan tidak banyak berubah permukaan dari sampel. Perbedaan berarti hanya pada pengurangan porositas yang ada.

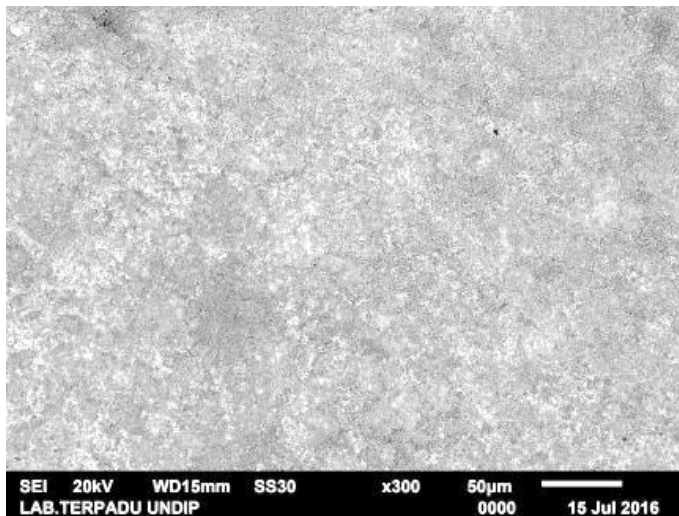
Variasi temperatur kepada material sampel adalah salah satu factor yang mempengaruhi hasil dari proses metalurgi serbuk. Efek dari variasi temperatur kompaksi 200°C dapat dilihat pada Gambar 18 – Gambar 21



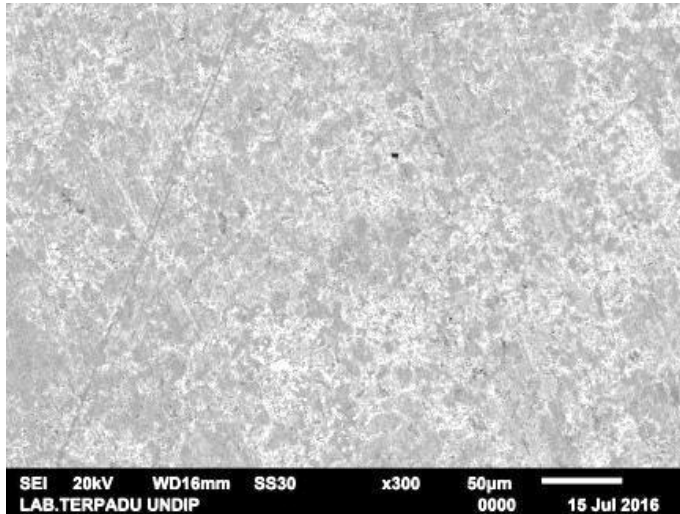
Gambar 4.18 Hasil SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 300 MPa.



Gambar 4.19 Hasil SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 400 MPa.



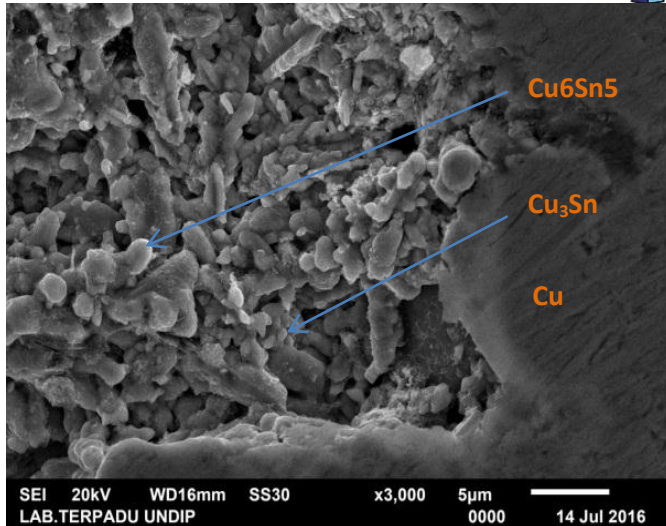
Gambar 4.20 Hasil SEM temperatur 200°C dengan perbesaran 300x tekanan 500 MPa.



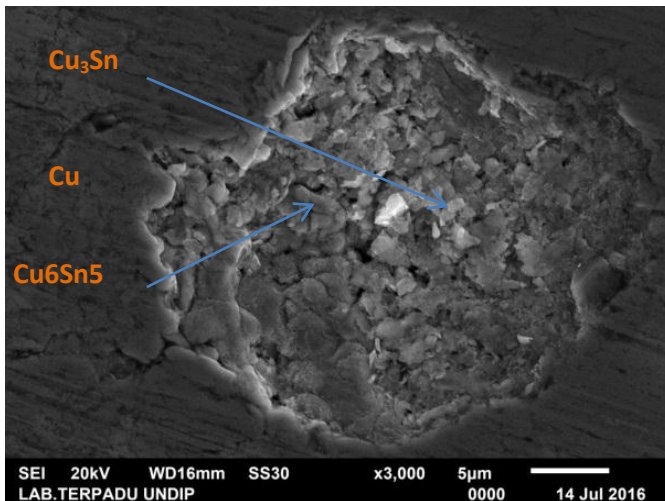
Gambar 4.21 Hasil SEM temperatur 200^oC dengan perbesaran 300x tekanan 600 MPa.

Dari Gambar 4.16 sampai 4.19 terlihat bahwa porositas berkurang signifikan sehingga pada perbesaran yang sama variabel temperatur meningkat, porositas dari sampel tekanan 300 MPa hanya tersisa satu porositas besar dan beberapa porositas kecil. Dengan penambahan variasi tekanan, terlihat semakin padat. Pada tekanan 400 MPa porositas besar sudah tidak muncul namun masih memiliki Cukup banyak porositas kecil. Tekanan 500 MPa dan 600 MPa sudah semakin padat. Persebaran daerah putih yang sudah menyebar masuk ke daerah daerah abu abu gelap sehingga terlihat persebarannya lebih merata jika dibandingkan dengan variasi temperatur 100^oC.

Analisa fasa yang terjadi pada hasil sampel berdasarkan hasil *X-Ray Diffraction* menunjukkan fasa yang sama antara setiap variasi tekanan. Dari analisa SEM fasa yang terbaca di XRD bisa terlihat. Morfologi sampel dengan temperatur 100^oC dan 200^oC dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23



Gambar 4.22 Hasil SEM temperatur 100⁰C dengan perbesaran 3000x



Gambar 4.23 Hasil SEM temperatur 200⁰C dengan perbesaran 3000x



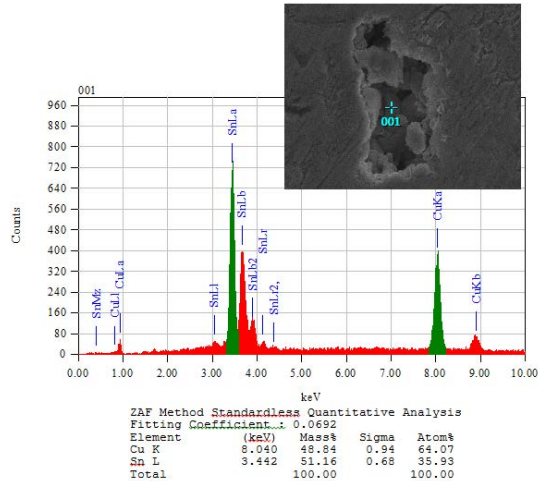
Fasa intermetallik sudah terbentuk pada temperatur kompaksi 100°C . dilihat pada Gambar 4.22 terlihat munculnya fasa Cu_6Sn_5 dengan bentuk bulat lonjong yang tumpul. Dan terbentuk pula fasa intermetallik Cu_3Sn yang berbentuk kapsul kecil disamping samping Cu_6Sn_5 . Selain itu terdapat pula fasa Cu yang memiliki warna abu abu gelap. Fasa Cu mendominasi disekeliling lubang dengan didalamnya fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn . Hal ini karena sesuai analisis kuantitatif persen berat Cu masih berkisar 61%.

Sementara pada variabel temperatur 200°C hasil SEM menunjukkan hasil yang sesuai dengan analisa kuantitatif. Dimana pada hasil SEM terdapat 3 fasa yang terbentuk yaitu Cu_3Sn , Cu_6Sn_5 dan Cu. Seperti yang ditunjuk dalam Gambar 4.23 Cu_6Sn_5 membentuk kelompok yang berjumlah sedikit bila dibanding dengan Cu_3Sn . Fasa Cu masih terlihat mengelilingi lubang dengan warna abu abu gelap. Bentuk fasa Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 terkonfirmasi dengan melihat penelitian yang dilakukan oleh Banovic (2007) fasa Cu_3Sn memiliki bentuk *nodular* dan fasa Cu_3Sn memiliki bentuk *fine grain platelet*.

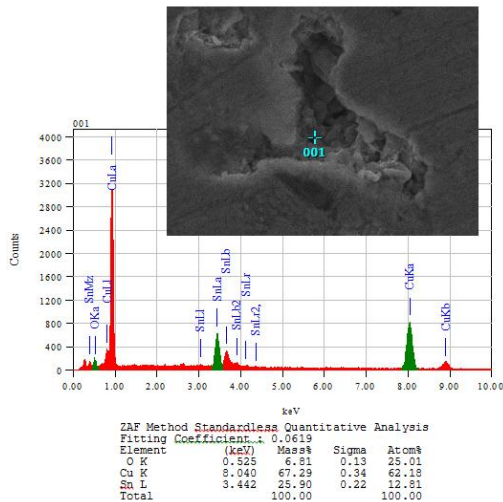
Indikasi terbentuknya fasa fasa tersebut bisa diperkuat dengan adanya pengujian EDX yang dilakukan pada Gambar yang ingin diketahui jumlah unsurnya. Dengan menggunakan EDX didapatkan jumlah unsur yang nantinya akan dibandingkan dengan penelitian fasa Cu_3Sn mempunyai komposisi Cu dan Sn berapa persen. Hasil pengujian EDX dapat dilihat pada Gambar 4.26 terlihat bahwa Fasa Cu memiliki komposisi Cu 98.64 % dan Sn 1.36% . unsur Cu mendekati nilai 100% maka bisa dipastikan bahwa bagian abu abu gelap adalah unsur Cu. Sementara fasa Intermetallik Cu_3Sn dilihat pada Gambar 4.25 memiliki nilai 65.29% Cu dan 34.71% Sn. Bila dibandingkan dengan penelitian dari divisi metalurgi (MSEL USA) fasa Cu_3Sn terbentuk pada daerah dengan fraksi massa Cu 61,63wt% dan Sn 38,37wt%, hasil dari EDX mendekati nilai tersebut. bisa dipastikan bahwa hasil fasa yang dilakuakn uji EDX adalah fasa Cu_3Sn . Sementara hasil EDX fasa Cu_6Sn_5 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.24 mempunyai



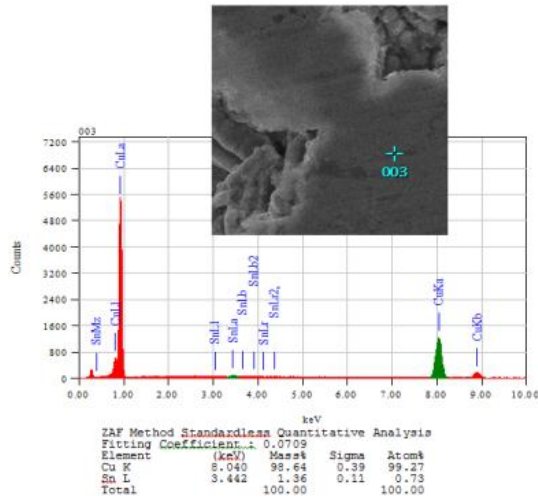
nilai Cu 48.84% dan Sn 51.16 %. Nilai itu mendekati nilai dari divisi metalurgi (MSEL USA) yaitu fraksi massa Cu 39,07wt% dan Sn dengan fraksi massa 60,93wt%. Jadi bagian berbentuk nodular tersebut adalah Cu_6Sn_5 .



Gambar 4.24 Hasil SEM EDX Cu_6Sn_5



Gambar 4.25 Hasil SEM EDX Cu_3Sn



Gambar 4.26 Hasil SEM EDX Cu

4.3.3 Hasil Analisa Densitas dan Porositas Komposit Tembaga-Timah

Densitas adalah sifat material yang memiliki hasil saling berkebalikan jika dibandingkan dengan porositas, kedua sifat ini saling mempengaruhi. Ketika densitas suatu material bernilai tinggi maka porositas dari material tersebut akan bernilai rendah, sebaliknya jika densitas suatu material bernilai rendah maka porositas dari material tersebut akan bernilai tinggi. Hal ini senada dengan rumus 3.3. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes dimana benda dikeringkan terlebih dahulu lalu ditimbang massa keringnya selanjutnya benda dicelupkan kedalam aquades dan dihitung massa saat didalam air. Massa dalam air bila dibagi dengan densitas air maka akan menjadi volume benda sehingga bisa dicari massa jenisnya.

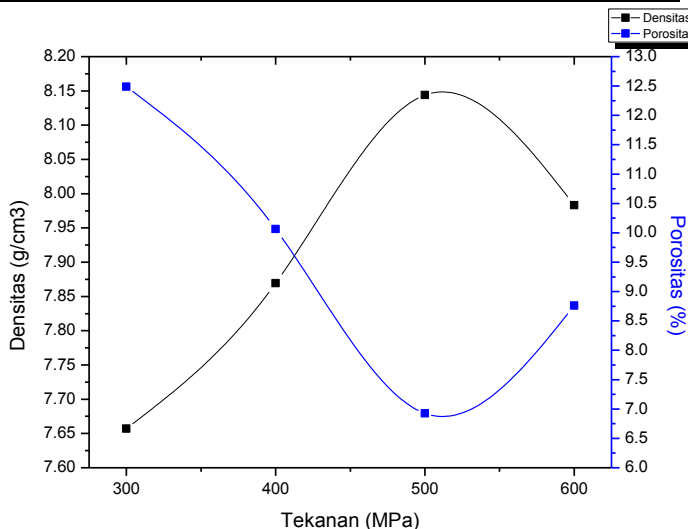
Dari proses pengujian densitas Archimedes didapatkan hasil densitas dari setiap *pellet* kemudian dirata – rata dari tiga kali pengulangan ntuk mendapatkan data yang lebih akurat.



Kemudian *pellet* dipanaskan dengan magnetic stirrer untuk menghilangkan seluruh air. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan air didalam *pellet* sehingga dapat diminimalkan terjadinya oksidasi dalam *pellet*. Dalam penelitian ini dianalisa pengaruh dari variabel yang dipakai (temperatur dan tekanan) dengan densitas dan porositas specimen. Hasil densitas dan porositas pada temperatur 100°C dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.27

Tabel 4. 1 Data hasil densitas dan porositas pada temperatur kompaksi 100°C

Tekanan (MPa)	Densitas (g/cm ³)	Porositas %
300	7.657	12.490
400	7.869	10.062
500	8.144	6.925
600	7.983	8.761



Gambar 4.27 Pengaruh tekanan pada specimen temperatur kompaksi 100°C terhadap densitas dan porositas.



Dari Gambar 4.27 diatas terlihat hubungan antara tekanan yang diberikan pada spesimen dan densitas serta porositas yang didapatkan dari spesimen. Hasil yang didapat menunjukkan adanya kenaikan densitas seiring dengan kenaikan tekanan hingga mencapai nilai maksimum pada tekanan 500 MPa dan kemudian menurun pada penekanan 600 MPa. Adanya kenaikan densitas ini menandakan bahwa komposit akan semakin padat seiring dengan penambahan tekanan yang diberikan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Mahani,2013) bahwa semakin meningkat tekanan yang diberikan maka akan semakin tinggi densitas yang didapatkan. Sementara ketika tekanan yang diberikan diatas 500 terjadi penurunan densitas yang ada, jika dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh (Nassef,2016) yang menunjukkan bahwa komposit Cu10%Sn setelah diuji tekan hingga terjadi patahan pada penekanan kurang lebih 500 MPa. Sehingga bisa dipahami bahwa dalam percobaan pada tekanan 600 MPa terjadi penurunan densitas.

Sementara sesuai dengan teori porositas sebagai antitesa densitas, maka nilai porositas menurun sampai maksimum pada tekanan 500 MPa dan kembali naik pada variasi tekanan 600 MPa. Nilai tersebut dikuatkan dengan hasil Gambar 4.5, terlihat pada tekanan 300 MPa porositas yang terbentuk memiliki jumlah yang banyak dan cenderung besar. Pembentukan porositas ini selain dikarenakan adanya jarak antar partikel, penambahan *Zinc stearate* akan memperbanyak porositas. *Zinc stearate* akan meleleh dan meninggalkan lubang lubang ketika dilakukan warm kompaksi (Ibrahim, 2009). Sementara ketika terjadi kenaikan tekanan hasil porositas terlihat semakin sedikit dan kecil. Penurunan ini diakibatkan oleh adanya tekanan yang menyebabkan serbuk akan mengalami rearrangement dan menutup lubang lubang kosong sehingga porositas akan turun. Kemudian apabila dinaikkan kembali tekanan yang diberikan maka serbuk akan jarak antar serbuk akan semakin kecil dan kontak antar serbuk akan semakin banyak (Mahani,2013) sehingga terjadi deformasi plastis yang mengakibatkan adanya aliran material

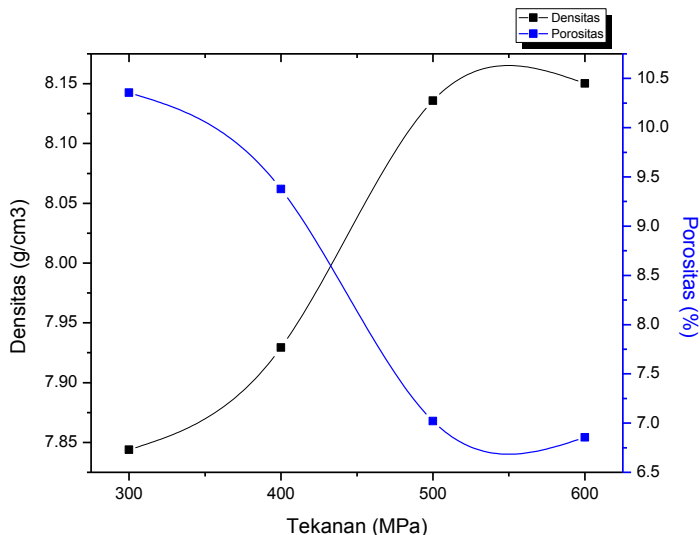


kedalam sisa poros yang ada. Namun ketika tekanan kembali dinaikkan sesuai dengan penjelasan diatas akan terjadi peningkatan porositas saat densitas turun pada tekanan 600 MPa.

Densitas dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah temperatur dengan penambahan temperatur secara teori dapat meningkatkan nilai densitas suatu benda. Nilai densitas dan porositas pada temperatur kompaksi 200°C dapat dilihat dari Tabel 4.2 dan Gambar 4.28

Tabel 4. 2 Data hasil densitas dan porositas pada temperatur kompaksi 200°C

Tekanan (MPa)	Densitas (g/cm ³)	Porositas %
300	7.843	10.355
400	7.929	9.378
500	8.135	7.019
600	8.150	6.855



Gambar 4.28 Pengaruh tekanan pada specimen temperatur kompaksi 200°C terhadap densitas dan porositas.



Dari Gambar 4.28 terlihat bahwa terdapat peningkatan nilai densitas yang signifikan pada tekanan 300 sampai dengan tekanan 500 MPa. Hal ini terjadi akibat adanya peningkatan kontak antar partikel dan peningkatan deformasi plastis partikel sehingga terjadi aliran atau *flow* partikel memasuki ruang kosong antar partikel sehingga terjadi penurunan volume komposit. Sehingga bila dilihat dari rumus 3.1 maka ketika terjadi penurunan volume komposit maka akan meningkatkan densitas dari komposit tersebut. namun bila dilihat terdapat peningkatan densitas yang kurang signifikan pada variasi tekanan 600 MPa.

Jika dibandingkan dari Gambar 4.27 dan 4.28 terlihat bahwa nilai densitas mengalami kenaikan nilai dari temperatur 100°C ke temperatur 200°C dalam seluruh variasi tekanan yang diberikan. Hal ini dikarenakan adanya energi kalor yang diberikan oleh temperatur yang lebih tinggi sehingga akan menurunkan *yield strength* dari material serta meningkatkan kelunakan dari material (Chagnon, 2000). Sehingga dengan penambahan tekanan disaat material lebih lunak tersebut akan meningkatkan kontak antar serbuk dan akan terjadi deformasi plastis lebih banyak sehingga ada aliran material yang menutup rongga rongga antara partikel serbuk. Dengan adanya fenomena ini maka densitas yang didapatkan akan meningkat.

4.3.4 Hasil Analisa Sifat Mekanik Komposit Tembaga-Timah

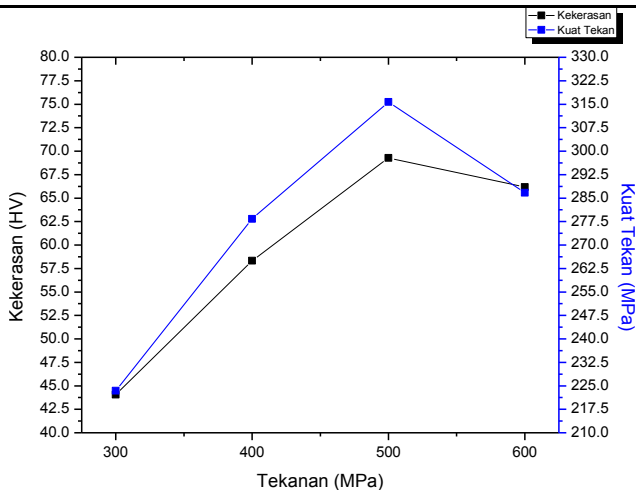
Dalam pembuatan proyektil *frangible* sifat mekanik dari bahan yang digunakan sangatlah penting untuk diketahui. Karena sifat mekanik erat hubungannya dengan kinerja dari peluru yang dihasilkan. Sifat mekanik yang cukup penting untuk diketahui dalam proses pembuatan peluru adalah kekerasan bahan dan kekuatan tekan suatu bahan. Kekerasan secara umum didefinisikan sebagai ketahanan suatu material akibat indentasi permanen (Kalpakjian, 1991). Kekerasan diperlukan untuk diuji karena berhubungan dengan daya tahan dari laras ketika dilewati oleh peluru. Apabila kekerasan peluru melebihi kekerasan laras yang dilewati, dikhawatirkan akan terjadi kerusakan dalam laras sehingga akan mengurangi akurasi dari tembakan senapan.



Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan Rockwell tipe F. Dengan menggunakan tiga kali indentasi dan tiga kali pengulangan setiap variabel. Kemudian hasil dari pengujian kekerasan ini nantinya akan dibandingkan dengan syarat kekerasan sebuah peluru *frangible*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kruachatturat dkk (2012) nilai kekerasan yang dibutuhkan oleh peluru *frangible* adalah 54-119 HV atau 33-95 HRF. Dalam penelitian ini nilai kekerasan komposit dengan temperatur kompaksi 100°C yang didapatkan dapat dilihat dari Tabel 4.3 dan Gambar 4.29

Tabel 4.3 Data hasil kekerasan dan kuat tekan pada temperatur kompaksi 100°C

Tekanan (MPa)	Kekerasan (HV)	Kuat Tekan (MPa)
300	52.12	223.438
400	64.50	278.378
500	76.30	315.714
600	73.02	286.694



Gambar 4.29 Pengaruh tekanan terhadap kekerasan dan kuat tekan komposit Cu10%Sn pada temperatur kompaksi 100°C



Dari Gambar diatas terlihat bahwa pada temperatur 100°C dengan naiknya tekanan yang diberikan kekerasan material akan naik. Telah dibahas sebelumnya dengan pemberian tekanan maka akan meningkatkan densitas. Dengan naiknya densitas maka akan meningkatkan kekerasan dari material (Mahani,2013) Namun terjadi penurunan kekerasan pada temperatur 600°C hal ini dikarenakan adanya puncak kekuatan material pada variabel tekanan 500 MPa. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nassef (2016) yang menunjukkan bahwa kurva stress strain Cu10% Sn putus pada tekanan kurang lebih 560 MPa. Dengan putusnya kurva ini maka bisa dikatakan material terjadi kerusakan dan pada tekanan tersebut adalah nilai kekuatan maksimum dari Cu10%Sn. Bila dilihat dari Gambar 4.9 dan 4.11 maka terlihat tren dari densitas material dan kekerasan material sejalan.

Sementara untuk kekuatan mekanik material bisa juga dilihat dari pengujian tekan (*compression test*). Pengujian tekan adalah salah satu alternatif pengganti pengujian tarik. Penggantian ini dikarenakan sampel terlalu kecil sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian tarik. Pada pengujian tekan bentuk sampel berbeda dengan bentuk sampel pengujian tarik. Bentuk sampel berupa *pellet* silinder berukuran 1:1 (perbandingan diameter dan tinggi). Pengujian ini dihentikan ketika telah melewati kekuatan maksimum dari benda.

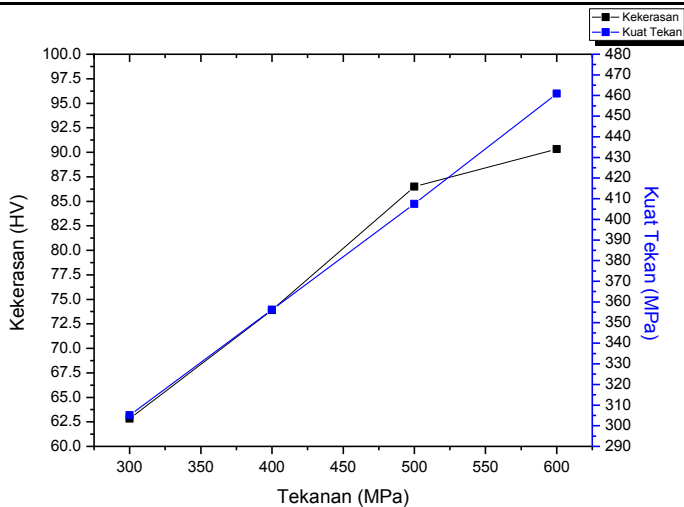
Kuat tekan sangat erat hubungannya dengan densitas suatu material. Ketika densitas naik maka kekuatan tekan material akan naik, sebaliknya apabila densitas turun maka kekuatan tekan material akan turun (German,1984). Bila dilihat dari hasil pengujian tekan pada Gambar 4.11, kuat tekan dari spesimen dengan variasi temperatur kompaksi 100°C memiliki tren yang sama dengan hasil pengujian kekerasan. Yaitu naik pada tekanan 300-500 dan turun pada tekanan 600. Berdasarkan teori densitas-kuat tarik, hasil pengujian densitas pada Gambar 4.27 memiliki tren yang sama dengan hasil pengujian tekan pada Gambar 4.29 hal ini karena antara densitas – kuat tekan – kekerasan memiliki



hubungan. Dimana semakin padat suatu material maka semakin kurang porositas yang ada dan semakin sulit untuk diindentasi maupun ditekan. Namun apabila densitas suatu material rendah sehingga porositas material Cukup banyak maka indenter akan semakin mudah untuk masuk dan penekan akan semakin mudah untuk merusak spesimen. Mudahnya indenter masuk atau penekan menghanCurkan spesimen terjadi karena porositas menyebabkan konsentrasi tegangan sehingga mudah untuk memicu retakan (Bourcier,1984)

Tabel 4. 4 Data hasil kekerasan dan kuat tekan pada temperatur kompaksi 200^oC

Tekanan (MPa)	Kekerasan (HV)	Kuat Tekan (MPa)
300	68.72	305.140
400	83.19	356.287
500	100.15	407.434
600	109.85	460.947



Gambar 4.30 Pengaruh tekanan terhadap kekerasan dan kuat tekan komposit Cu10%Sn pada temperatur kompaksi 200^oC



Sedangkan untuk temperatur 200°C seperti ditampilkan pada Gambar 4.30 memiliki tren yang cenderung linier, dengan sedikit kenaikan pada tekanan 500 MPa ke 600 MPa. Kenaikan yang kurang signifikan ini dikarenakan densitas yang sudah mendekati densitas teoritis sehingga semakin sulit untuk menghilangkan porositas dan menambah densitas. Namun jika dibandingkan kekerasan yang didapatkan dari variabel temperatur kompaksi 100°C terjadi kenaikan disemua variasi tekanan. Nilai tertinggi dicapai pada tekanan 600 MPa. Kenaikan kekerasan ini dikarenakan adanya tambahan energi kalor yang diberikan oleh peningkatan temperatur. Peningkatan temperatur ini akan menjadikan setiap serbuk material semakin lunak. Perubahan material menjadi semakin lunak ini membuat serbuk yang diberikan tekanan akan dengan mudah mengalir menuju rongga-rongga kosong yang masih ada. Terisinya rongga kosong ini akan meningkatkan kepadatan dari suatu material yang sekaligus akan mempersulit indenter alat uji untuk menembus material. Sehingga terjadi peningkatan kekerasan material tersebut.

Hasil pengujian tekan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.30 dihasilkan nilai yang cenderung linier. Hal ini sejalan dengan densitas yang tidak mengalami penurunan tren. Namun terdapat nilai yang sedikit janggal pada tekanan 400 MPa temperatur kompaksi 200°C . Terjadi kelalaian dalam pengujian sehingga didapatkan hasil yang sedikit berbeda dari tren densitas. Dilakukan proses interpolasi data untuk mengetahui nilai perkiraan dari variabel tersebut. Dengan menambahkan nilai sebelum dan nilai sesudahnya lalu membagi dua nilai yang sudah ditambah tersebut. Nilai interpolasi sedikit tercatat lebih tinggi dibandingkan dengan nilai percobaan awal yaitu 352.287 MPa dari 295.865 MPa.

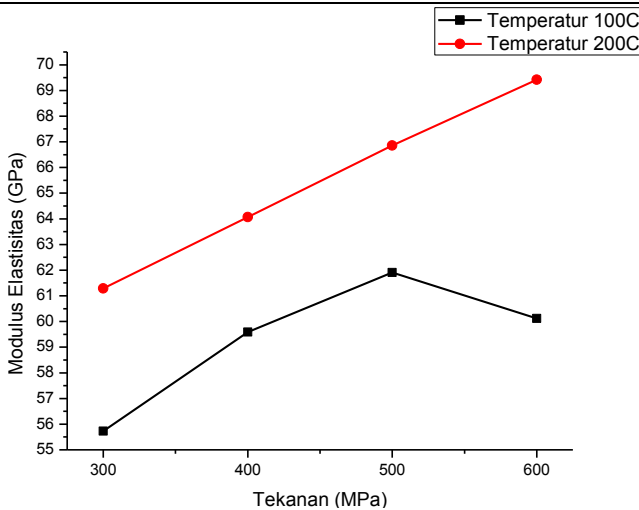
Dari pengujian tekan tidak hanya didapatkan nilai kekuatan tekan namun juga bisa didapatkan nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas adalah derajat kekakuan suatu material. Dimana semakin besar nilai modulus elastisitas material maka akan semakin tinggi kekakuan material tersebut. sebaliknya



apabila semakin kecil nilai modulus elastisitas, makin tidak kaku suatu material tersebut (Callister, 2007). Nilai modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4. Nilai dari modulus elastisitas material dengan variasi temperatur 100°C dan 200°C dapat dilihat Tabel 4.5 dan Gambar 4.31. Nilai modulus elastisitas dihitung menggunakan persamaan 3.4 Dimana pada persamaan tersebut hanya ada satu variabel tak tetap yaitu kekuatan tekan maka hasil dari nilai modulus elastisitas sejalan dengan hasil kekuatan tekan.

Tabel 4.5 Data hasil modulus elastisitas pada temperatur 100°C dan 200°C

Tekanan (MPa)	Modulus Elastisitas	
	Temperatur 100°C	Temperatur 200°C
300	55.73	61.29
400	59.59	64.07
500	61.91	66.86
600	60.12	69.42



Gambar 4.31 Pengaruh tekanan terhadap modulus elastisitas komposit $\text{Cu}_{10}\text{Sn}+0,6$ Zinc Stearate pada temperatur kompaksi 100°C dan 200°C



4.2 Pembahasan

Penelitian tentang karakterisasi material peluru *frangible* berbahan Tembaga – Timah dengan komposisi Cu10%Sn+0,6% *Zinc stearate* ini ditujukan untuk mengetahui apakah material subjek masuk kriteria sebagai material untuk peluru *frangible*. Penelitian dilakukan dengan menganalisa sifat mekanik dari material berupa kekuatan tekan, kekerasan permukaan, modulus elastisitas material, sebagai efek dari variasi temperatur kompaksi dan tekanan kompaksi. Serta sifat fisik seperti densitas dan porositas juga dianalisa untuk mengetahui penyebab fenomena yang terjadi pada material. Data yang diperoleh dari penelitian akan dibandingkan dengan kriteria material untuk peluru *frangible* yang telah diteliti beberapa peneliti. Menurut Hansen (2008) densitas yang diperlukan adalah $7.1 \text{ g/cm}^3 - 8.5 \text{ g/cm}^3$. Sementara kekuatan tekan dan kekerasan permukaan diteliti oleh Kruachatturat,dkk (2009) berkisar antara 31 MPa – 310 MPa dan 54 – 119 HV.

Pada Gambar 4.1 dan 4.3 yang merupakan Gambar serbuk yang akan dipakai dalam penelitian menunjukkan bentuk dendritik dan bentuk tetesan air. Bentuk dendritik dari serbuk Cu mempunyai permukaan yang luas dari cabang-cabang serbuk sehingga akan memperbesar kemungkinan untuk mengalami *interlocking* (German,1984). kemampuan ini akan meningkatkan kemudahan serbuk untuk dilakukan kompaksi. Namun dengan bentuk Sn yang seperti titik air mempunyai permukaan halus sehingga mengurangi kemungkinan *interlocking*.

Hasil Densitas pada temperatur 100°C Gambar 4.27 Memiliki tren yang naik sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Meunier (1998) yang menemukan bahwa tekanan adalah salah satu dari tiga parameter warm kompaksi yaitu waktu tahan, temperatur, dan tekanan kompaksi. Nilai densitas yang membesar dikarenakan dengan penambahan parameter warm kompaksi berupa tekanan maka akan memberikan efek pengurangan volume material. Pengurangan volume ini akibat hilangnya porositas, hal



ini dapat dilihat dari Gambar 4.27 yang menunjukkan pengurangan porositas sampel dari tekanan 300 sampai 500 namun antara tekanan 500 dan 600 tidak terjadi pengurangan porositas yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa pengurangan densitas pada tekanan 600 terjadi karena porositas masih tersisa Cukup banyak. penelitian yang dilakukan oleh Nassef (2016) memperlihatkan nilai kekuatan tekan Cu10%Sn yang berhenti pada kurang lebih 560 MPa. Maka terkonfirmasi nilai densitas pada tekanan 600 MPa turun.

Densitas temperatur 200°C lebih tinggi dari temperatur 100°C naik sesuai dengan teori dan dibuktikan dengan Gambar 4.28 yang memperlihatkan penurunan drastis porositas hingga tersisa porositas kecil. Dengan perbedaan tekanan pada temperatur 200°C densitas semakin naik, terkonfirmasi dengan foto SEM yang semakin berkurang porositas kecil yang tersisa. Semakin berkurangnya porositas ini dikarenakan akan menurunkan yield strength akibat adanya energi kalor yang diberikan. Sehingga akan mengakibatkan semakin lunaknya material (Chagnon, 2000). Sehingga ketika ditekan akan mempermudah mengisi rongga rongga didalam komposit.

Densitas memiliki peran penting dalam kekuatan tekan dan kekerasan. Semakin meningkatnya densitas akan semakin meningkat pula kekerasan dan kuat tekan (Mahani, 2013). Sehingga Gambar 4.27 dan 4.29 memperlihatkan antara densitas – kekerasan – kuat tekan memiliki tren yang sama. Namun bila dilihat dari Grafik kekerasan dan kuat tekan antara temperatur 100°C dan 200°C terdapat peningkatan nilai. Ini dapat dikonfirmasi dari Gambar SEM material temperatur 100°C ke 200°C mengalami penurunan jumlah porositas yang sangat signifikan. Porositas merupakan bagian yang mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan (bourcier, 1984) sehingga lebih rendahnya kekuatan tekan dan kekerasan pada temperatur 100°C terkonfirmasi.

Perbedaan sifat mekanik antara sampel temperatur 100°C dan 200°C jugadapat disebabkan oleh fasa Intermetallik



yang terbentuk. Fasa intermetallik secara alami memiliki sifat getas dan keras (Mishra,2013). Maka dengan terbentuknya fasa intermetallik yang terlihat pada hasil analisa kuantitatif XRD akan meningkatkan kekerasan dari Material. Pada temperatur 100°C fasa intermetallik yang terbentuk pada Gambar 4.12 tercatat lebih sedikit bila dibandingkan dengan fasa intermetallik yang terbentuk pada Gambar 4.14, sehingga bisa dikonfirmasi bahwa kekerasan pada temperatur 100°C lebih rendah.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

Perhitungan Massa Serbuk

Perhitungan massa matriks dan massa *filler* pada komposit Cu-10%wtSn digunakan persamaan berikut:

- Massa matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c$$

- Massa *filler*

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c$$

Keterangan:

m_m : massa matriks

m_f : massa *filler*

a : fraksi massa matriks

b : fraksi massa *filler*

ρ_m : densitas matriks

ρ_f : densitas *filler*

v_c : volume komposit

Perhitungan volume sampel berbentuk silinder berdiameter 10 mm adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder } (v_l) &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= 0.25 \times 3.14 \times (1 \text{ cm})^2 (1.1 \text{ cm}) \\ &= 0.8635 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Massa masing-masing serbuk dari peluru komposisi Cu-10%wt Sn adalah sebagai berikut:

Massa matriks:

$$\begin{aligned} m_m &= a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \\ m_m &= 0.90 \cdot \frac{(8.96)(7.3)}{(0.90 \times 7.3) + (0.1 \times 8.96)} \cdot (0.8635) \\ m_m &= 0.90 \cdot \frac{(65.408)}{(7.466)} \cdot (0.8635) \\ m_m &= 6.8078 \text{ gr} \end{aligned}$$

Massa *filler*:

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c$$

$$m_m = 0,10 \cdot \frac{(8,96)(7,3)}{(0,90 \times 7,3) + (0,1 \times 8,96)} \cdot (0,8635)$$

$$m_f = 0,10 \cdot \frac{(65,408)}{(7,466)} \cdot (0,8635)$$

$$m_f = 0.7564 \text{ gr}$$

Sementara massa total komposit dihitung dengan menambahkan massa matriks dan massa penguat seperti pada perhitungan berikut :

$$m_{total} = m_m + m_f$$

$$m_{total} = 6.8078 + 0.7564$$

$$m_{total} = 7.5642 \text{ gr}$$

Sehingga didapatkan untuk komposisi Cu-10% wt Sn massa matriks 6.8078 gr dan massa penguat 0.7564 gr serta massa total komposit 7.5642 gr

Massa Zinc stearate bisa dihitung sebagai berikut :

$$m_{zinc} = m_{total} \times 0,6\%$$

$$m_{zinc} = 7.5642 \times 0,6\%$$

$$m_{zinc} = 0.04538 \text{ gr}$$

Perhitungan Kecepatan putar mixing

Perhitungan kecepatan putar untuk mixer tabung adalah sebagai berikut :

$$N_0 = \frac{32}{d^{0.5}}$$

$$N_0 = \frac{32}{(0.0452)^{0.5}}$$

$$N_0 = \frac{32}{0.21260292} = 150.515 \text{ RPM}$$

Perhitungan konversi HRF ke HV untuk Copper

- Sampel temperatur 100⁰C dan tekanan 300 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (44.06) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (44.06)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (44.06)^3$$

$$HV = 52.12$$

- Sampel temperatur 100⁰C dan tekanan 400 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (58.33) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (58.33)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (58.33)^3$$

$$HV = 64.50$$

- Sampel temperatur 100⁰C dan tekanan 500 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (69.28) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (69.28)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (69.28)^3$$

$$HV = 76.30$$

- Sampel temperatur 100⁰C dan tekanan 600 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (66.17) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (66.17)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (66.17)^3$$

$$HV = 73.02$$

- Sampel temperatur 200⁰C dan tekanan 300 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (62.83) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (62.83)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (62.83)^3$$

$$HV = 68.72$$

- Sampel temperatur 200⁰C dan tekanan 400 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (73.89) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (73.89)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (73.89)^3$$

$$HV = 83.19$$

- Sampel temperatur 200⁰C dan tekanan 500 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (86.50) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (86.50)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (86.50)^3$$

$$HV = 100.15$$

- Sampel temperatur 200⁰C dan tekanan 600 MPa

$$\frac{1}{HV} = 0.03378 \times 10^{-2} - 7.12218 \times 10^{-4} (90.33) \\ + 6.46922 \times 10^{-6} (90.33)^2 \\ - 2.64942 \times 10^{-8} (90.33)^3$$

$$HV = 109.85$$

Perhitungan analisa kuantitatif hasil XRD

- Sampel temperatur 100⁰C dan tekanan 300 MPa

$$\begin{aligned}\%Cu &= \frac{I_{Cu}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\% \\ &= \frac{8539}{8359 + 1845 + 3032 + 496} \times 100\% = 67.379\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%Sn &= \frac{I_{Sn}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\% \\ &= \frac{1845}{8359 + 1845 + 3032 + 496} \times 100\% = 13.262\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%Cu_3Sn &= \frac{I_{Cu_3Sn}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\% \\ &= \frac{3032}{8359 + 1845 + 3032 + 496} \times 100\% = 21.794\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%Cu_6Sn_5 &= \frac{I_{Cu_6Sn_5}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\% \\ &= \frac{496}{8359 + 1845 + 3032 + 496} \times 100\% = 3.565\%\end{aligned}$$

- Sampel temperatur 200°C dan tekanan 300 MPa

$$\begin{aligned}\%Cu &= \frac{I_{Cu}}{I_{Cu} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\% \\ &= \frac{8031}{8031 + 3078 + 469} \times 100\% = 69.364\%\end{aligned}$$

$$\%Cu_3Sn = \frac{I_{Cu_3Sn}}{I_{Cu} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$= \frac{3078}{8031 + 3078 + 469} \times 100\% = 26.585\%$$

$$\%Cu_6Sn_5 = \frac{I_{Cu_6Sn_5}}{I_{Cu} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$= \frac{469}{8031 + 3078 + 469} \times 100\% = 4.051\%$$

LAMPIRAN B

Tabel A Densitas dan Porositas Pellet

Tekanan	Temperatur	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)			Porositas (%)		
					Mean	SD		Mean	SD
300	100	6.6926	0.9099	7.3553	7.65710	0.068	15.9392	12.4902	9.252
		6.4700	0.8353	7.7576			11.3406		
		7.1204	0.9061	7.8582			10.1909		
	200	6.9431	0.9147	7.5905	7.8695	0.0708	13.2505	10.0624	9.382
		6.4146	0.8127	7.8929			9.7948		
		7.1265	0.8771	8.1250			7.1420		
400	100	6.9703	0.8701	8.0109	8.1440	0.0131	8.4466	6.9257	1.735
		7.1528	0.8710	8.2121			6.1466		
		6.9554	0.8473	8.2088			6.1840		
	200	6.2373	0.7842	7.9537	7.9833	0.0595	9.1004	8.7618	7.809
		6.2906	0.7633	8.2413			5.8134		
		7.2796	0.9387	7.7549			11.3716		
500	100	7.2429	0.9491	7.6313	7.8438	0.0883	12.7847	10.3555	13.829
		7.1057	0.9250	7.6818			12.2075		
		7.1057	0.8646	8.2184			6.0744		
	200	7.1546	0.9043	7.9117	7.9294	0.0646	9.5799	9.3780	8.431
		7.1261	0.8699	8.1918			6.3787		
		7.1083	0.9250	7.6846			12.1754		
600	100	7.0708	0.8620	8.2027	8.1357	0.0034	6.2538	7.0197	0.447
		6.8458	0.8457	8.0948			7.4876		
		7.2825	0.8980	8.1096			7.3178		
	200	7.1065	0.8437	8.4230	8.1501	0.6102	3.7369	6.8550	7.970
		7.0562	0.8885	7.9416			9.2377		
		7.2263	0.8937	8.0858			7.591		

Tabel B Data Hardness Pellet

Tekanan	Temperatur	Hardness (HV)	
			Mean
300	100	55.59	52.12
		45.05	
		55.73	
	200	71.62	64.50
		61.25	
		60.65	
400	100	77.92	76.30
		64.32	
		86.66	
	200	86.69	73.02
		69.72	
		62.46	
500	100	67.87	68.72
		70.40	
		67.87	
	200	94.53	83.19
		92.89	
		62.16	
600	100	99.50	100.15
		98.58	
		102.37	
	200	129.29	109.85
		99.50	
		100.75	

Tabel C Data Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

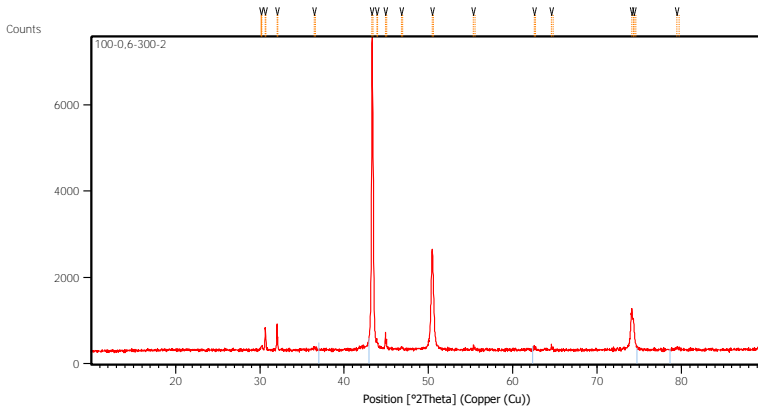
Tekanan	Temperatur	Kuat Tekan (MPa)		Modulus Elastisitas (GPa)	
			Mean		Mean
300	100	188.95	223.43	53.13	53.73
		257.92		58.33	
	200	245.83	278.37	57.49	59.59
		310.93		61.69	
400	100	285.07	315.71	60.10	61.91
		346.06		63.72	
	200	252.87	286.69	57.98	60.12
		350.52		62.26	
500	100	333.44	305.14	63.00	61.29
		276.84		59.58	
	200	244.88	295.86 *	57.43	60.59*
		346.86		63.75	
600	100	440.09	407.43	68.47	66.86
		374.78		65.25	
	200	476.03	460.94	70.10	69.42
		445.86		68.74	

*data sebelum di interpolasi. Data sesudah diinterpolasi tercatat kekuatan tekan 352.287 MPa dan modulus elastisitas 64.07

Lampiran C

Hasil Pengujian XRD

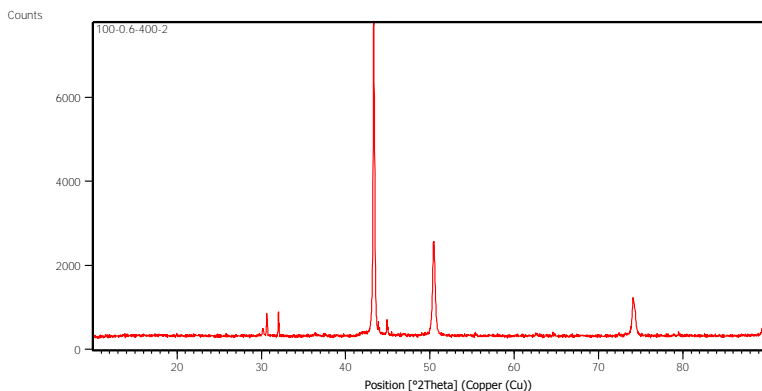
- Temperatur 100°C Tekanan 300 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.17(1)	71(10)	0.20(4)	2.95950	1.17
30.25(1)	35(10)	0.20(4)	2.95950	0.58
30.639(2)	469(21)	0.079(3)	2.91562	7.72
30.717(2)	234(21)	0.079(3)	2.91562	3.86
32.031(1)	550(22)	0.070(3)	2.79202	9.07
32.112(1)	275(22)	0.070(3)	2.79202	4.53
36.47(3)	33(6)	0.37(9)	2.46172	0.55
36.56(3)	17(6)	0.37(9)	2.46172	0.27
43.3174(4)	6066(45)	0.163(1)	2.08710	100.00
43.4304(4)	3033(45)	0.163(1)	2.08710	50.00
43.884(8)	68(20)	0.05(3)	2.06144	1.11
43.999(8)	34(20)	0.05(3)	2.06144	0.56
44.915(2)	391(18)	0.068(4)	2.01649	6.45
45.033(2)	196(18)	0.068(4)	2.01649	3.22

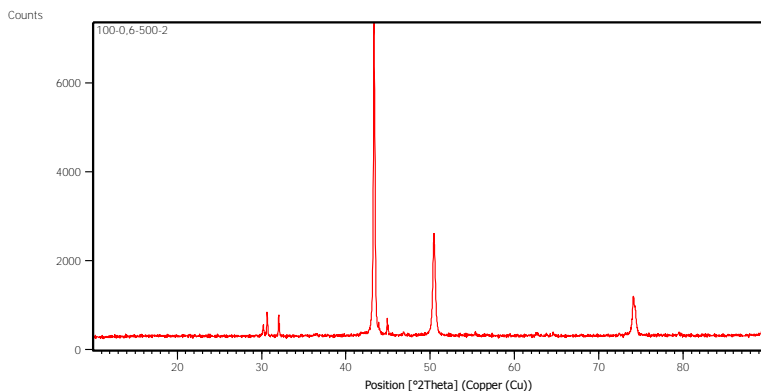
46.81(4)	23(7)	0.3(2)	1.93937	0.38
46.93(4)	11(7)	0.3(2)	1.93937	0.19
50.4286(9)	1707(21)	0.296(3)	1.80819	28.13
50.5627(9)	853(21)	0.296(3)	1.80819	14.07
55.357(5)	105(13)	0.09(1)	1.65832	1.73
55.506(5)	53(13)	0.09(1)	1.65832	0.87
62.550(4)	112(14)	0.07(1)	1.48379	1.85
62.723(4)	56(14)	0.07(1)	1.48378	0.92
64.606(3)	149(15)	0.07(1)	1.44143	2.45
64.787(3)	74(15)	0.07(1)	1.44143	1.23
74.117(4)	774(17)	0.292(9)	1.27823	12.76
74.332(4)	387(17)	0.292(9)	1.27823	6.38
74.39(5)	37(17)	0.2(1)	1.27415	0.61
74.61(5)	19(17)	0.2(1)	1.27415	0.31
79.51(1)	60(9)	0.17(3)	1.20453	1.00
79.75(1)	30(9)	0.17(3)	1.20453	0.50

- Temperatur 100°C Tekanan 400 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.159(6)	118(10)	0.19(2)	2.96086	1.87
30.236(6)	59(10)	0.19(2)	2.96086	0.94
30.644(2)	461(20)	0.078(4)	2.91511	7.32
30.722(2)	231(20)	0.078(4)	2.91511	3.66
32.030(1)	565(22)	0.064(3)	2.79206	8.98
32.112(1)	283(22)	0.064(3)	2.79206	4.49
36.39(3)	28(4)	0.4(1)	2.46716	0.44
36.48(3)	14(4)	0.4(1)	2.46716	0.22
41.88(2)	38(4)	0.49(8)	2.15523	0.60
41.99(2)	19(4)	0.49(8)	2.15523	0.30
43.3160(4)	6297(48)	0.155(2)	2.08716	100.00
)			
43.4291(4)	3149(48)	0.155(2)	2.08716	50.00
)			
43.894(3)	158(22)	0.05(1)	2.06102	2.50
44.008(3)	79(22)	0.05(1)	2.06102	1.25
44.914(2)	359(17)	0.079(4)	2.01655	5.71
45.032(2)	180(17)	0.079(4)	2.01655	2.85
50.429(1)	1659(18)	0.307(3)	1.80818	26.34
)			
50.563(1)	829(18)	0.307(3)	1.80818	13.17
55.36(1)	54(9)	0.10(3)	1.65820	0.86
55.51(1)	27(9)	0.10(3)	1.65820	0.43
62.549(6)	97(9)	0.10(2)	1.48380	1.54
62.722(6)	49(9)	0.10(2)	1.48380	0.77
64.597(4)	98(15)	0.06(1)	1.44162	1.56
64.777(4)	49(15)	0.06(1)	1.44162	0.78
74.121(2)	778(15)	0.290(8)	1.27817	12.35
74.336(2)	389(15)	0.290(8)	1.27817	6.18
79.514(8)	69(11)	0.10(3)	1.20448	1.10
79.751(8)	35(11)	0.10(3)	1.20448	0.55

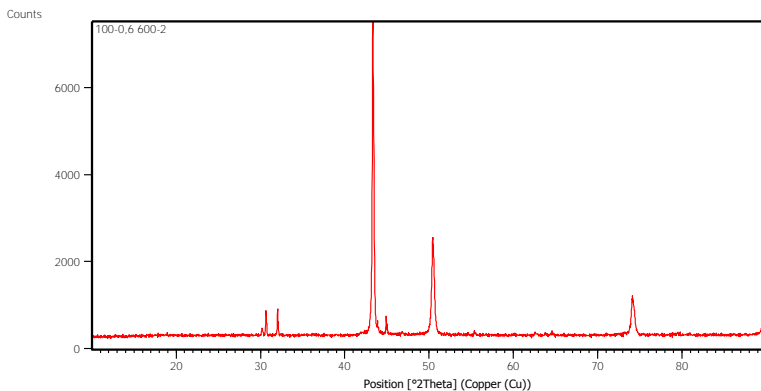
- Temperatur 100°C Tekanan 500 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.172(4)	160(13)	0.15(2)	2.95965	2.77
30.249(4)	80(13)	0.15(2)	2.95965	1.39
30.647(2)	457(20)	0.087(5)	2.91479	7.92
30.725(2)	229(20)	0.087(5)	2.91479	3.96
32.032(2)	437(19)	0.082(5)	2.79188	7.58
32.114(2)	219(19)	0.082(5)	2.79188	3.79
43.3210(4)	5768(43)	0.167(2)	2.08693	100.00
)				
43.4341(4)	2884(43)	0.167(2)	2.08693	50.00
)				
43.897(5)	102(20)	0.05(2)	2.06086	1.77
44.012(5)	51(20)	0.05(2)	2.06086	0.89
44.921(1)	412(19)	0.062(4)	2.01625	7.14
45.039(1)	206(19)	0.062(4)	2.01625	3.57
46.84(1)	61(12)	0.13(3)	1.93813	1.06
46.96(1)	31(12)	0.13(3)	1.93813	0.53
50.430(6)	1633(36)	0.30(1)	1.80814	28.32
50(1288)	0(62)	0(3017)	1.80703	0.00
50.564(6)	817(36)	0.30(1)	1.80814	14.16

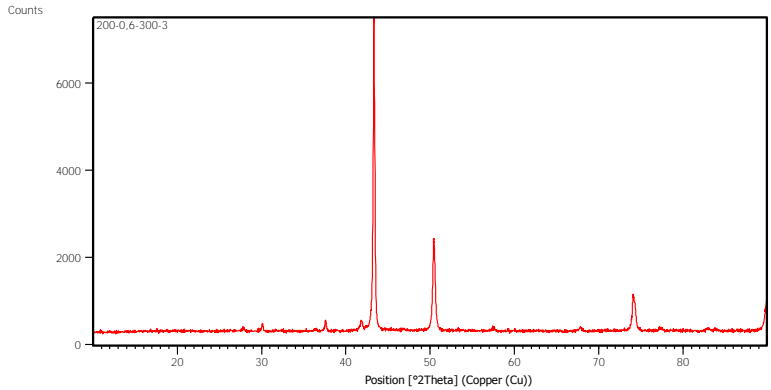
51(1288)	0(62)	0(3017)	1.80703	0.00
51(2664)	0(84)	0(6850)	1.80222	0.00
51(2664)	0(84)	0(6850)	1.80222	0.00
55.346(9)	68(11)	0.11(2)	1.65860	1.18
55.496(9)	34(11)	0.11(2)	1.65860	0.59
62.568(8)	73(11)	0.11(2)	1.48340	1.26
62.741(8)	36(11)	0.11(2)	1.48340	0.63
64.594(6)	89(11)	0.10(2)	1.44167	1.54
64.774(6)	45(11)	0.10(2)	1.44167	0.77
72.44(1)	45(10)	0.13(4)	1.30362	0.77
72.65(1)	22(10)	0.13(4)	1.30362	0.39
73.390(5)	93(15)	0.06(2)	1.28908	1.61
73.602(5)	46(15)	0.06(2)	1.28908	0.80
74.117(4)	745(15)	0.296(9)	1.27823	12.91
74.332(4)	372(15)	0.296(9)	1.27823	6.46
74.38(1)	67(21)	0.11(4)	1.27439	1.17
74.59(1)	34(21)	0.11(4)	1.27439	0.58
79.46(4)	27(3)	0.40(3)	1.20511	0.47
79.70(4)	14(3)	0.40(3)	1.20511	0.24

- Temperatur 100°C Tekanan 600 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.177(6)	128(19)	0.13(2)	2.95919	2.11
30.253(6)	64(19)	0.13(2)	2.95919	1.06
30.649(2)	482(21)	0.081(4)	2.91464	7.97
30.727(2)	241(21)	0.081(4)	2.91464	3.99
32.037(1)	553(22)	0.067(3)	2.79143	9.14
32.119(1)	276(22)	0.067(3)	2.79143	4.57
43.3231(4)	6048(47)	0.158(1)	2.08683	100.00
43.4362(4)	3024(47)	0.158(1)	2.08683	50.00
43.894(4)	113(20)	0.05(1)	2.06101	1.86
44.009(4)	56(20)	0.05(1)	2.06101	0.93
44.923(2)	379(18)	0.069(4)	2.01617	6.27
45.041(2)	189(18)	0.069(4)	2.01617	3.13
46.81(2)	31(7)	0.22(7)	1.93917	0.51
46.93(2)	15(7)	0.22(7)	1.93917	0.26
50.433(1)	1629(16)	0.308(3)	1.80805	26.94
50.567(1)	815(16)	0.308(3)	1.80805	13.47
55.354(6)	88(13)	0.09(2)	1.65839	1.46
55.503(6)	44(13)	0.09(2)	1.65839	0.73
62.59(1)	67(10)	0.15(3)	1.48301	1.10
62.76(1)	33(10)	0.15(3)	1.48301	0.55
63.78(2)	37(7)	0.15(6)	1.45818	0.61
63.95(2)	18(7)	0.15(6)	1.45818	0.30
64.603(6)	84(12)	0.08(2)	1.44150	1.38
64.783(6)	42(12)	0.08(2)	1.44150	0.69
74.128(2)	715(13)	0.313(8)	1.27806	11.83
74.343(2)	358(13)	0.313(8)	1.27806	5.91
79.49(1)	50(9)	0.13(4)	1.20476	0.82
79.73(1)	25(9)	0.13(4)	1.20476	0.41

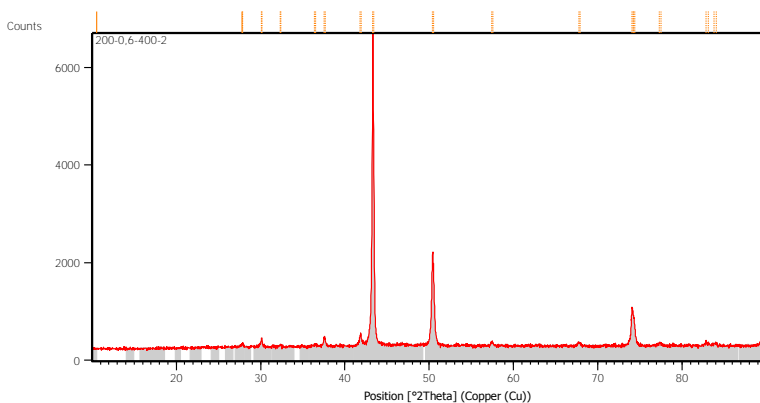
- Temperatur 200°C Tekanan 300 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.80(1)	60(12)	0.18(7)	3.20665	1.05
27.87(1)	30(12)	0.18(7)	3.20665	0.52
30.069(5)	146(16)	0.15(2)	2.96949	2.53
30.146(5)	73(16)	0.15(2)	2.96949	1.27
36.39(3)	32(6)	0.37(8)	2.46699	0.55
36.48(3)	16(6)	0.37(8)	2.46699	0.28
37.560(4)	203(16)	0.14(2)	2.39271	3.53
37.657(4)	101(16)	0.14(2)	2.39271	1.76
41.808(6)	163(12)	0.24(3)	2.15890	2.83
41.917(6)	81(12)	0.24(3)	2.15890	1.41
43.3042(4)	5750(47)	0.172(1)	2.08770	100.00
43.4173(4)	2875(47)	0.172(1)	2.08770	50.00
50.418(1)	1556(17)	0.292(3)	1.80854	27.05
50.552(1)	778(17)	0.292(3)	1.80854	13.53
57.463(4)	141(7)	0.07(1)	1.60243	2.45
57.619(4)	70(7)	0.07(1)	1.60243	1.23
67.78(2)	67(10)	0.32(9)	1.38144	1.16
67.97(2)	33(10)	0.32(9)	1.38144	0.58
74.114(2)	725(15)	0.287(8)	1.27828	12.61
74.329(2)	363(15)	0.287(8)	1.27828	6.31

77.27(2)	54(8)	0.34(7)	1.23370	0.95
77.50(2)	27(8)	0.34(7)	1.23370	0.47
82.90(2)	56(9)	0.3(1)	1.16364	0.98
83.15(2)	28(9)	0.3(1)	1.16364	0.49
83.83(3)	38(5)	0.34(5)	1.15308	0.67
84.09(3)	19(5)	0.34(5)	1.15308	0.33

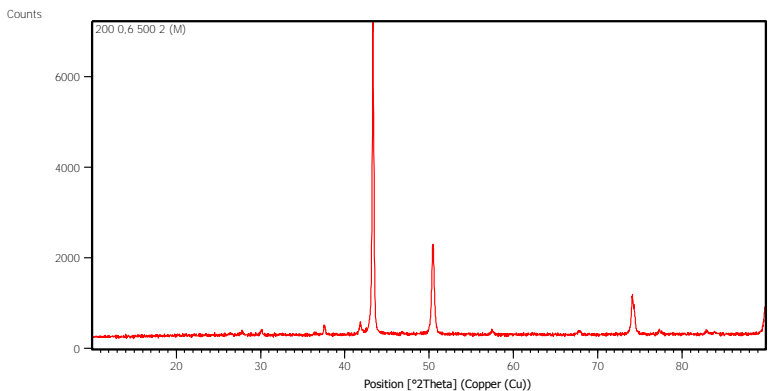
- Temperatur 200^oC Tekanan 400 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.5(2)	4(2)	1(1)	8.39648	0.08
10.6(2)	2(2)	1(1)	8.39648	0.04
27.80(1)	48(7)	0.27(7)	3.20612	0.91
27.87(1)	24(7)	0.27(7)	3.20612	0.46
30.085(5)	137(15)	0.15(2)	2.96798	2.63
30.162(5)	68(15)	0.15(2)	2.96798	1.31
32.33(4)	21(4)	0.28(6)	2.76683	0.40
32.41(4)	11(4)	0.28(6)	2.76683	0.20
36.42(4)	22(3)	0.6(1)	2.46479	0.41
36.52(4)	11(3)	0.6(1)	2.46479	0.21
37.560(5)	162(14)	0.18(2)	2.39270	3.11
37.657(5)	81(14)	0.18(2)	2.39270	1.56

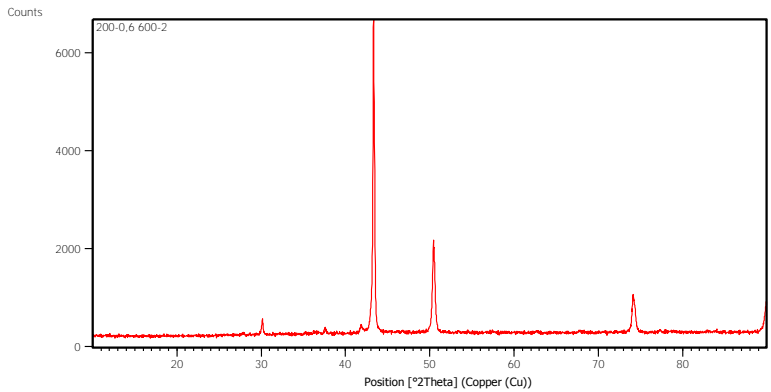
41.823(8)	182(33)	0.19(3)	2.15817	3.50
41.931(8)	91(33)	0.19(3)	2.15817	1.75
43.2994(4)	5203(46)	0.166(2)	2.08792	100.00
43.4125(4)	2601(46)	0.166(2)	2.08792	50.00
50.407(1)	1373(21)	0.294(3)	1.80890	26.39
50.542(1)	686(21)	0.294(3)	1.80890	13.20
57.43(1)	79(10)	0.20(5)	1.60335	1.52
57.58(1)	40(10)	0.20(5)	1.60335	0.76
67.75(1)	69(9)	0.26(7)	1.38194	1.32
67.94(1)	34(9)	0.26(7)	1.38194	0.66
74.078(5)	579(44)	0.226(8)	1.27880	11.13
74.19(1)	225(34)	0.22(6)	1.27722	4.33
74.293(5)	290(44)	0.226(8)	1.27880	5.57
74.40(1)	113(34)	0.22(6)	1.27722	2.16
77.28(2)	42(5)	0.46(8)	1.23356	0.81
77.51(2)	21(5)	0.46(8)	1.23356	0.40
82.88(1)	74(9)	0.22(4)	1.16390	1.43
83.13(1)	37(9)	0.22(4)	1.16390	0.71
83.84(3)	40(8)	0.4(1)	1.15299	0.77
84.09(3)	20(8)	0.4(1)	1.15299	0.39

- Temperatur 200°C Tekanan 500 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.80(1)	42(5)	0.27(4)	3.20694	0.76
27.87(1)	21(5)	0.27(4)	3.20694	0.38
30.07(1)	79(10)	0.21(4)	2.96910	1.43
30.15(1)	39(10)	0.21(4)	2.96910	0.72
36.39(3)	27(7)	0.3(2)	2.46706	0.48
36.48(3)	13(7)	0.3(2)	2.46706	0.24
37.563(5)	168(14)	0.18(3)	2.39251	3.06
37.660(5)	84(14)	0.18(3)	2.39251	1.53
41.826(6)	178(16)	0.20(3)	2.15799	3.25
41.935(6)	89(16)	0.20(3)	2.15799	1.62
43.3062(4)	5494(45)	0.174(1)	2.08761	100.00
43.4193(4)	2747(45)	0.174(1)	2.08761	50.00
46.81(4)	18(4)	0.4(1)	1.93919	0.33
46.93(4)	9(4)	0.4(1)	1.93919	0.17
50.420(1)	1473(18)	0.299(3)	1.80848	26.82
50.554(1)	737(18)	0.299(3)	1.80848	13.41
57.46(1)	81(10)	0.22(6)	1.60262	1.47
57.61(1)	40(10)	0.22(6)	1.60262	0.73
67.78(1)	76(10)	0.25(6)	1.38148	1.39
67.97(1)	38(10)	0.25(6)	1.38148	0.69
74.121(2)	740(15)	0.270(5)	1.27817	13.48
74.336(2)	370(15)	0.270(5)	1.27817	6.74
77.33(1)	84(9)	0.19(2)	1.23294	1.54
77.56(1)	42(9)	0.19(2)	1.23294	0.77
82.90(3)	60(15)	0.36(9)	1.16362	1.09
83.15(3)	30(15)	0.36(9)	1.16362	0.54
83.84(2)	51(9)	0.21(6)	1.15295	0.94
84.10(2)	26(9)	0.21(6)	1.15295	0.47


- Temperatur 200^oC Tekanan 600 MPa



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.85(2)	27(5)	0.24(7)	3.20049	0.50
27.92(2)	13(5)	0.24(7)	3.20049	0.25
30.114(3)	237(13)	0.16(2)	2.96524	4.38
30.190(3)	118(13)	0.16(2)	2.96524	2.19
36.44(4)	27(3)	0.7(1)	2.46384	0.51
36.53(4)	14(3)	0.7(1)	2.46384	0.25
37.566(8)	90(12)	0.19(5)	2.39237	1.67
37.662(8)	45(12)	0.19(5)	2.39237	0.83
41.832(9)	96(8)	0.30(5)	2.15772	1.77
41.941(9)	48(8)	0.30(5)	2.15772	0.89
43.3123(4)	5398(46)	0.152(2)	2.08733	100.00
)				
43.4253(4)	2699(46)	0.152(2)	2.08733	50.00
)				
50.428(1)	1325(14)	0.304(4)	1.80820	24.56
50.562(1)	663(14)	0.304(4)	1.80820	12.28
53.39(2)	37(10)	0.13(4)	1.71471	0.68
53.53(2)	18(10)	0.13(4)	1.71471	0.34
57.45(2)	38(10)	0.2(1)	1.60268	0.70

57.61(2)	19(10)	0.2(1)	1.60268	0.35
62.60(3)	24(5)	0.4(1)	1.48273	0.45
62.77(3)	12(5)	0.4(1)	1.48273	0.22
67.84(4)	22(3)	0.7(1)	1.38031	0.40
68.04(4)	11(3)	0.7(1)	1.38031	0.20
74.123(2)	677(14)	0.278(9)	1.27815	12.54
74.338(2)	338(14)	0.278(9)	1.27815	6.27
82.94(2)	44(9)	0.16(6)	1.16318	0.82
83.19(2)	22(9)	0.16(6)	1.16318	0.41

LAMPIRAN D

	
<p style="text-align: center;">100-300</p>	<p style="text-align: center;">200-300</p>
	
<p style="text-align: center;">100-400</p>	<p style="text-align: center;">200-400</p>
	
<p style="text-align: center;">100-500</p>	<p style="text-align: center;">200-500</p>
	
<p style="text-align: center;">100-600</p>	<p style="text-align: center;">200-600</p>

Gambar D material setelah pengujian tekan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh dari temperatur kompaksi pada sifat mekanik adalah ketika temperatur kompaksi dinaikkan maka akan terjadi kenaikan nilai sifat mekanik yang selaras.
2. Pengaruh dari tekanan kompaksi pada sifat mekanik adalah ketika tekanan kompaksi dinaikkan maka akan terjadi kenaikan nilai sifat mekanik yang selaras hingga batas kemampuannya dan akan turun setelahnya. Nilai kekerasan, kuat tekan, dan modulus elastisitas maksimum pada variasi temperatur kompaksi adalah 123.68 HV, 460.95 MPa, dan 69.42 GPa.

5.2. Saran

1. Dilakukan proses sinter pada material yang telah diwarm compaction.
2. Pembuatan komposit dilakukan dengan tekanan warm compaction yang rendah dalam rentang 200 MPa – 400 MPa
3. Pengukuran kecepatan dilakukan secara real dan pengukuran matematis sehingga mendapatkan data kecepatan sebenarnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Fany Rahmansyah.2015.**Pengaruh Kombinasi Ukuran Partikel Cu Dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik dan Densitas Komposit W-Cu.**Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Anugraha, Vicko Gestyanto, 2014.**Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru *Frangible* dengan Metode Metalurgi Serbuk.** Surabaya: ITS
- Anugraha, Vicko Gestyanto.2015. **Analisa karakteristik Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Komposit Cu-Sn Terhadap Frangibilitas Peluru Frangible Cu-Sn.**Surabaya:ITS
- Ashby, MF, dkk.2000.**Metal Foams: A Design Guide.**UK.Butterworth-Heinemann.
- Banovic, S.W.2007.**Microstructural Characterization and Mechanical Behavior of Cu-Sn Frangible Bullets.**Gaithersburg:US Department of Commerce
- Benini, Joseph C. 2001. **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles.** Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1
- Burnett, Bryan R.2003.**Nose or Base Strike: Analysis of Bullet orientationin a ricochet.**Cardiff:Meixa Tech
- Callister, William D.2000.Fundamentals of Materials Science and Engineering.United States.John Willey & Sons.
- Chagnon.2000.Optimizing Powder Mix Formulations and Processing Conditions for Warm Compaction.Sidney.Quebec Metal Powders Limited.
- Comoglu, Tansel.2007.**An Overview of Compaction Equations.**Ankara.Ankara University
- Elliott, K.H. 2004. **Medium Density Bronze Shot.** Paten Internasional: WO 2004/090464 A1

- Feng, S.S. 2011. **Effect of Lubricant on Warm Compaction Process of Cu-Based Composite**. Ji'nan: University of Ji'nan
- Firmanysah, Khoiril Metrima. 2015. **Pengaruh Temperatur Sintering Metode Metalurgi Serbuk Terhadap Frangibility dan Performa Balistik Peluru Frangible Komposit Cu-10%wtSn**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gaidarov, V.A. dan A.T. Mamedov. 1987. **Effect of Zinc Stearate on The Properties of Sintered Products**. Minsk: Plenum Publishing Corporation
- German, R.M. 1984. **Powder Metallurgy Science**. USA: Metal powder Industries Federation.
- German, R.M. 1996. **Sintering Theory and Practice**. USA: John Wiley and Son.
- Hanejko, Francis. 2007. **High Density via Single Pressing/Single Sintering**. Cinnaminson. Hoeganaes Corporation.
- Hansen, R.D. 2008. **Bullet Composition**. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 7,392,746 B2
- Heard, Bryan J. 2008. **Handbook of Firearms and Ballistics**. Singapura. John Willey and Sons
- Ibrahim, A, dkk. 2008. **An Experimental Investigation on the W-Cu Composites**. Helwan. University
- Jones, W.D. 1960. **Fundamental Principles of Powder Metallurgy**. Edward Aronold. London.
- Joys, J. 2009. **Lead Free Frangible Bullets**. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 8,225,718 B2
- Kazzaz, Abraham, dkk. 2014. **New Approach to Warm Compaction Temperature Selection**. Sidney. University of Sidney
- Kennedy, Andrew. 2012. **Porous Metals and Metal Foams Made from Powders**. Nottingham. University of Nottingham.
- Kruachaturrat, S dkk. 2009. "Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets." **The 3rd Thailand Metallurgy**

- Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development.** Bangkok, Thailand
- Li, M. dan S.J.Zinkle.2012.**Physical and Mechanical Properties of Copper and Copper Alloys.**Argonne.Argone National Laboratory
- Martinez, Jose Antonio Calero.2013.**Frangible Bullet and Its Manufacturing Method.**Amerika.Nomor Paten:US 8.365.672 B2
- Mates, Steven P.,dkk.2006.**High Rate Tensile Strength Measurements of Frangible Bulles using a kolsky bar.**Maryland:National Institute of Standards and Technology.
- Mitchell, Brian S.2003.**An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers.**New Jersey:John Wiley & Sons, Inc.
- Mullins, John F.(2001).**Frangible Ammunition:The New Wave in Firearms Ammunition.**Paladin Press, Boulder CO.
- Nadkarni, Anil V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same.** Amerika Serikat Nomor Paten: US 6,536,352 B1
- Nassef, Ahmed dan Medhat El-Hadek.2016.Microstructure and Mechanical Behavior of Hot Pressed Cu-Sn Powder Alloys.Port Said.Port Said University.
- Ngai, Tungwai Leo, dkk.2005.**Warm Compaction Powder metallurgy of Cu.**Guangzhou:South China University of Technology
- Nor, S.S.M, dkk.2007.**The Effect of Lubrication in Reducing Net Friction in Warm Powder Compaction Process.**Selangor:University Tenaga Nasional
- Poche, Dave . 2008 . **Civil War Ricochet Bullets** .
<http://www.pochefamily.org/books/RBullets.html>
- Rydlo, M. 2010. **“Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor”**. **Advances in Military Technology** Vol.5, No. 2

- Sanchez, dkk.2006.**Diffusion at Cu/Sn Interface During Sintering Process**.London.Maney
- Savitskii, Arnold P.**Scientific Approaches to Problems of Mixtures Sintering**.Tomsk.Institut of Strength Physics & Material Science.Tomsk: Institut of Strength Physics&Materials Science.
- Schwartz, M.M. 1984. **Composite Materials Handbook**.United States of America: McGraw-Hill
- Sharafat, S, dan N. Ghoniem.2000.**Summary of Thermo-Physical Properties of Sn, and Compounds of Sn-H, Sn-O, Sn-C, Sn-Li, and Sn-Si And Comparison of Properties of Sn, Sn-Li, Li and Pb-Li**.Los Angeles:University of California.
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS Press.
- Tan A.C., editor. 1993. **Tin and Solder Plating in the Semiconductor Industry**. London: Chapman and Hall
- Taubenblat, Pierre W.2007.**Market for PM Copper:Beyond Self-Lubricating Bearings**.New Jersey: APMI International
- Ward, M. and Billington, J.C.1979.**Effect of Zinc Stearate on Apparent Density, Mixing, and Compaction/Ejection of Iron Powder Compact**.Solihull:Lucas Industries Group Research Center.
- Zhou, Yu.2011.**Characterization of The Porosity And Pore Behavior During The Sintering Process of 420 Stainless Steel Samples Produced With Gas-and Water-Atomized Powder Using Powder Based 3-D Printing**.Swanson.University of Pittsburgh.
- _____.2004.**Hoganas Handbook For Warm Compaction**.New Jersey.Hoeganaes Corporation.
- _____. 2000. **ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation**. Ohio: ASM International
- _____.2016.Project Overview: **Materials and Process**.<http://projekt-hilevel.de/>

BIODATA PENULIS



Mahardika Kurnia Dewantara, lahir di Kota Kediri pada tanggal 17 Maret 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Agus Dwi Santoso dan Restu Daryanti. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di MI Mambaul Ulum Kota Kediri, MTsN 2 Kediri, dan SMA Negeri 2 Kediri. Setelah lulus SMA pada tahun 2012 penulis diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN Tulis.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi baik di dalam maupun di luar kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Departemen Pengabdian Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS tahun kepengurusan 2013/2014, Staff Departemen Kaderisasi Lembaga Dakwah Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Ash Habul Kahfi tahun kepengurusan 2013/2014, Staff Departemen Syiar Jamaah Masjid Manarul Ilmi ITS tahun kepengurusan 2013/2014, dan Ketua Komisi Kontrol Dewan Perwakilan Mahasiswa ITS tahun Kepengurusan 2014/2015, Serta aktif pada kegiatan sosial di Kelas Inspirasi Kediri tahun 2013, 2014, dan 2015. Dalam bidang keilmiah penulis juga aktif menjadi finalis dalam kegiatan perlombaan karya tulis ilmiah nasional yang diadakan PTN maupun DIKTI.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Ispatindo, Sidoarjo pada bulan Juli – Agustus 2015. Selama kerja